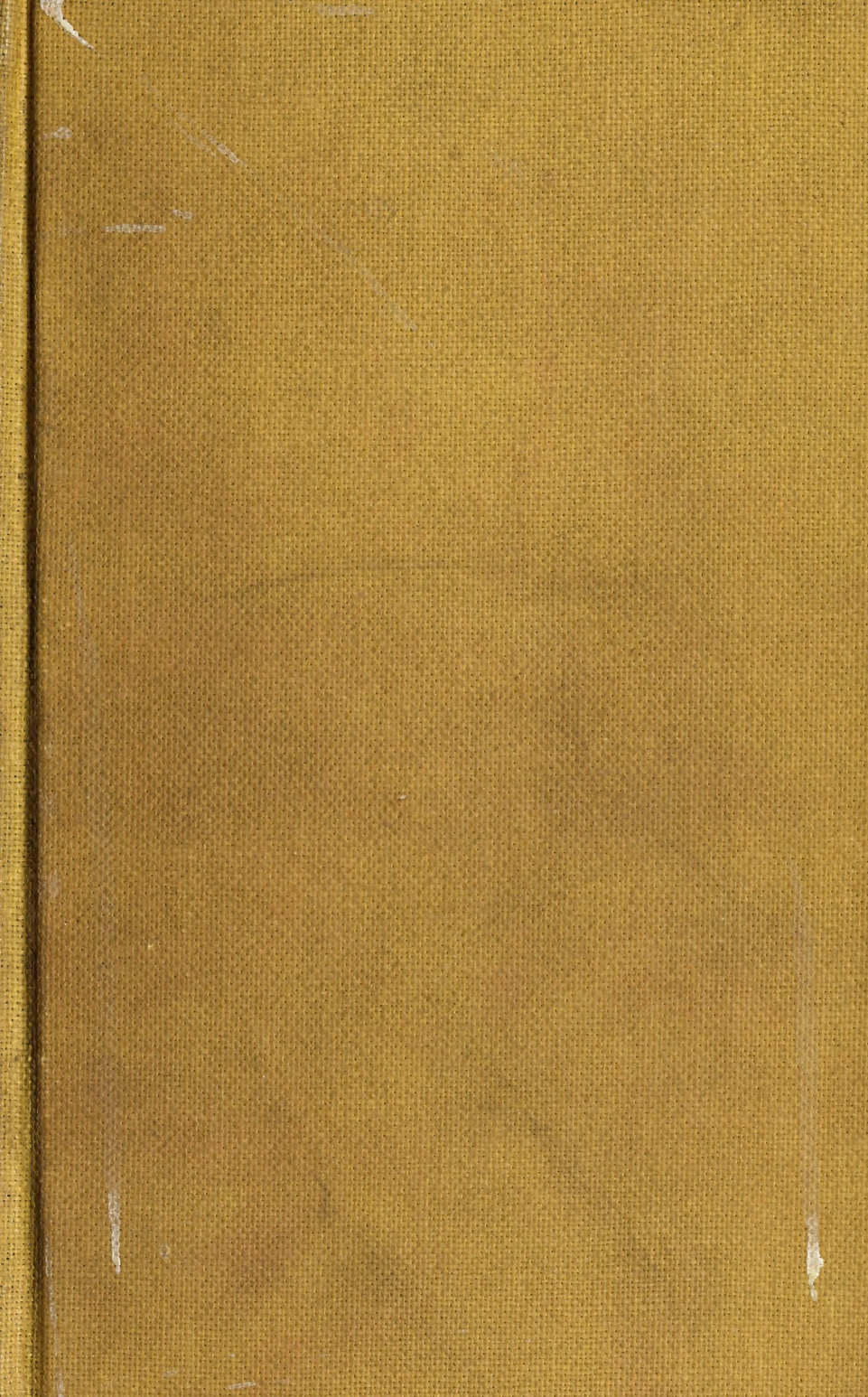




Natural History Museum Library



000233037

205

**SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DE FRANCE.**



PARIS. — IMPRIMERIE DE L. MARTINET,

IMPRIMEUR DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE, RUE JACOB, 50.

Bulletin
DE LA
SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DE FRANCE.

Come Quatrième: Deuxième série.

1846 A 1847.

PARIS,
AU LIEU DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ,
RUE DU VIEUX-COLOMBIER, 26.

—
1847.



SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE

DE FRANCE.

Séance du 2 novembre 1846.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY, *vice-président.*

M. Le Blanc, secrétaire, rappelle que le procès-verbal de la dernière séance a été approuvé par le Conseil, le 3 juillet dernier.

Par suite des présentations faites dans les séances de la Réunion extraordinaire à Alais en août et septembre 1846, le Président proclame membres de la Société :

MM.

DE REYDELLET, ingénieur civil des mines, à Izernause (Isère);

JEANJEAN (Adrien), avocat, à St-Hyppolite-le-Fort (Gard);

DE ROUVILLE (Paul), à Alais (Gard);

EWALD (Jules), naturaliste, à Berlin (Prusse);

Présentés dans la séance du 31 août par MM. le baron d'Hombres et Dumas;

SCARABELLI (Joseph), à Imola (États de l'Église),

Présenté dans la séance du 1^{er} septembre par MM. Toschi et le marquis de Roys;

MASSIN (Albin), professeur au collège de Romans (Drôme);

GAFFARD, pharmacien, à Aurillac (Cantal);

Le Baron DE SERRES DE MONTEIL, à St-Paulin-Trois-Châteaux (Drôme);

Présentés dans la séance du 6 septembre par MM. Aubéry et Doublier.

Le Président annonce ensuite six présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Ministre de la maison du roi, *Galleries*

hist. du palais de Versailles; t. VIII, in-8°, 402 p. Paris, 1846.

De la part de l'Administration des Mines, *Compte-rendu des travaux des ingénieurs des mines pendant l'année 1845*; in-4°, 259 p. Paris, mai 1846.

De la part de M. le Ministre des travaux publics, 1^o *Statistique géologique et minéralogique du département de l'Aude* (avec atlas); par M. A. Leymerie; in-8°, 676 p. Paris, 1846.

2^o *Mémoire sur les bassins houillers de Saône-et-Loire* (avec atlas); par M. Manès; in-4°, 177 p. Paris, 1844.

De la part de M. le Ministre de la justice, *Journal des Savants*; juin à septembre 1846.

De la part de M. Frédérik Klee, *Le Déluge; Considérations géologiques et historiques sur les derniers cataclysmes du globe*; in-18, 336 p. Paris, 1847.

De la part de M. Virlet d'Aoust, *Notice biographique sur M. Em le Puillon de Boblaye* (extr. de la *Biographie universelle*); in-8°, 12 p. Paris, 1844.

De la part de M. Ch. Desmoulins, *Documents relatifs à la faculté germinative conservée par quelques graines antiques*; in-8°, 31 p. Bordeaux, 1846.

De la part de M. Boisse, *Note sur les dépôts gypseux des environs de Sainte-Affrique* (Aveyron) (extr. des *Annales des mines*, 4^e série, t. VIII); in-8°, 32 p., 1 pl. Paris, 1845.

De la part de M. Levallois, *Observations sur la roche ignée d'Essey-la-Côte* (arrondissement de Lunéville) (extr. des *Mém. de la Soc. royale des lettres, sciences et arts de Nancy*); in-8°, 8 p. Nancy, 1846.

De la part de M. Lortet, *Rapport sur les travaux de la commission hydrométrique en 1845, présenté à M. le maire de Lyon*; in-8°, 16 p., 4 tabl. Lyon, 1846.

De la part de M. Charles Lory, *Études sur les terrains secondaires des Alpes dans les environs de Grenoble* (thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris pour le doctorat); in-8°, 136 p., 2 pl. Paris, 1846.

De la part de M. le baron d'Hombres-Firmas, *Recueil de mémoires et d'observations de physique, de météorologie,*

d'agriculture et d'histoire naturelle; 5 vol. in-8°; Nîmes, 1841 à 1844.

De la part de M. Barthélemy Lapommeraye, *Carabe d'Agassiz. Carabus Agassizi*; in-8°, 4 p. Marseille, 1846.

De la part de M. Achille Delesse, *Notice sur la composition et l'origine de quelques substances minérales*, in-8°, 22 p. Besançon, 1846.

De la part de M. L. Agassiz, *Résumé d'un travail d'ensemble sur l'organisation, la classification et le développement progressif des Échinodermes dans la série des terrains* (extr. des *Comptes-rendus des séances de l'Acad. des sc.*, t. XXIII, séance du 10 août 1846); in-4°, 21 p. Paris, 1846.

De la part de M. G. Fischer de Waldheim, *Recherches sur les ossements fossiles de la Russie. — Lettre à M. Louis Agassiz sur deux poissons fossiles*; in-4°, 15 p., 2 pl. Moscou, 1838.

De la part de M. A. Leymerie, 1° *Coupe des collines comprises entre Mancieux et l'Escalère, au S. de Saint-Martory, comprenant une grande partie du système crétacé des basses montagnes de la Haute - Garonne, exposée devant l'Acad. des sciences de Toulouse, dans la séance du 30 avril 1846*; in-8°, 16 p., 1 pl. Toulouse, 1846.

2° *Rapport sur le concours pour le prix d'histoire naturelle à décerner en 1846* (extr. des *Mém. de l'Acad. royale des sciences de Toulouse*); in-8°, 18 p. Toulouse, 1846.

3° *Mémoire sur le terrain à Nummulites (épicrotécé) des Corbières et de la montagne Noire* (extr. des *Mém. de la Soc. géologique de France*, 2^e sér., t. 1^{er} 2^e part.); in-4°, 41 p., 6 pl. Paris, 1846.

De la part de M. Hardouin Michelin, *Iconographie zoophytologique*; livraisons 22 et 23.

De la part de MM. de Hauer et Alcide d'Orbigny, *Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne (Autriche), découverts par M. Joseph de Hauer et décrits par M. Alcide d'Orbigny*; in-4°, 312 p., 21 pl. Paris, 1846.

De la part de M. L. de Koninck, *Notice sur quelques fossiles du Spitzberg* (Extr. du t. XXIII, n° 6, des *Bulletins de l'Acad. royale de Belgique*); in-8°, 8 p.....

De la part de M. Léonard Horner, *Address*, etc. (Discours prononcé à la réunion anniversaire de la Société géologique de Londres, le 20 février 1846); in-8°, 85 p. Londres, 1846.

De la part de M. Alexandre Vattemare, *Movement*, etc. (Mouvement des échanges internationaux de livres entre la France et l'Amérique du Nord, de janvier 1845 à mai 1846); in-8°, 74 p. Paris, 1846.

De la part de M. V. Streffleur, *Die Entstehung der Kontinente und Gebirge*, etc. (Influence de la rotation sur le niveau des mers et sur la formation des montagnes, avec un aperçu de l'histoire physique du sol de l'Europe); in-8°, 368 p. Vienne, 1847.

De la part de M. Léopold de Buch, *Über Cystideen*, etc. (Sur les Cystidées; considérations basées sur les particularités du *Caryocrinus ornatus*, Say); in-4°, 28 p., 2 pl. Berlin, 1845.

De la part de M. le comte de Keyserling, 1^o *Wissenschaftliche baebuchtungen*, etc. (Observations scientifiques sur un voyage dans le pays de Petschora, dans l'année 1846); par M. Paul de Krusenstern; in-4°, 336 p., 13 pl. Saint-Petersbourg, 1846.

2^o *Beschreibung*, etc. (Description, par M. Alexandre de Keyserling, de quelques cératites rapportées de la Sibérie-Septentrionale par M. le Dr A. Th. Middendorff) (extr. du *Bull. physico-mathém. de l'Acad. des sciences de Saint-Petersbourg*, t.V, n° 11; in-8, 18 p., 3 pl. Saint-Petersbourg, 1845.

De la part de M. Ramon Pellico, *Memoria*, etc. (Mémoire sur les mines d'argent de Hindelaencina, de la province de Guadalajara); in-8°, 16 p., 1 carte. Madrid, 1846.

De la part de M. Giovanni Michelotti, *Introduzione*, etc. (Introduction à l'étude de la géologie positive); in-18, 173 p. Turin, 1846.

De la part de M. le comte D. Paoli, 1^o *Del sollevamento*, etc. (Du soulèvement et de l'abaissement de quelques terrains); in-8°, 143 p. Pesaro, 1838.

2^o *Ricerche*, etc. (Recherches sur le mouvement moléculaire des solides); in-8°, 452 p. Florence, 1841.

3^o *Fatti*, etc. (Faits pour servir à l'histoire des change-

ments survenus sur la côte d'Italie, de Ravenne à Ancône, communiqués à la 3^e réunion des Savants italiens); in-8°, 51 p. Florence, 1842.

De la part de M. L. Pareto, 1^o *Osservazioni*, etc. (Observations géologiques du mont Amiata à Rome) (extr. du *Giornale Arcadico*, Tom. C. fasc. de juillet 1844); in-8°, 53 p., 2 pl. Rome 1844.

2^o *Sulla costituzione geologica*, etc. (Sur la constitution géologique des îles de Pianosa, Giglio, Giannutri, Monte-Cristo et Formiche di Grosseto; lu à la section de géologie de la 5^e réunion des Savants italiens en septembre 1843); in-8°, 20 p., 3 pl. Pise, 1845.

3^o *Cenni geognostici*, etc. (Aperçus géognostiques sur la Corse); in-4°, 38 p. 2 pl.....

De la part de M. L. Pilla, *Distinzione*, etc. (Distinction du terrain Hétrurien dans les plaines (*piani*) du midi de l'Europe); in-4°, 107 p. 3 pl. Pise, 1846.

De la part de M. Porta, *Discorso*, etc. (Discours prononcé par l'avocat Léonard Porta dans la section de géologie et de minéralogie du 7^e congrès des savants italiens réunis à Naples en septembre 1845); in-8°, 19 p. Naples, 1845.

De la part de M. Paul Savi, *Sulla costituzione geologica*, etc. (Sur la constitution géologique des monts Pisans); in-8°, 71 p. Pise, 1846.

De la part de M. Michel Wolkoff, *Introduzione*, etc. (Introduction à une étude géologique de la chaîne de l'Oural); in-8°, 40 p. Naples, 1845.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1846, 1^{er} semestre, nos 24—26;—2^e semestre, nos 1—17.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. V, nos 29—32.

L'Institut, 1846, nos 650—669.

Annales de l'Auvergne, t. XIV, mai—août 1846.

Recueil des travaux de la Société libre d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres du département de l'Eure; 2^e série, t. VI, 1845—1846.

Annales des sciences physiques et naturelles d'agriculture

et d'industrie, publiées par la Soc. royale d'agricult., etc., de Lyon; t. VIII, 1845.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, n° 94.

Bulletin des séances de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy; t. IV, 1^{re}—2^e livraisons, 1846.

Mémoires de l'Académie royale des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse; 3^e série, t. II, 1846.

Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève; t. XI, 1^{re} partie, 1846.

Supplément à la Bibliothèque de Genève. — Archives des sciences physiques et naturelles; n° 5, 15 juin 1846.

Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel; t. III, 1846.

Report, etc. (Relation de la 15^e réunion de l'Association britannique pour l'avancement de la science, tenue à Cambridge en juin 1845); in-8°, 471 p., 6 pl. Londres, 1846.

The quarterly Journal of the geological Society of London; n° 6, 1^{er} mai 1846.

The Athenæum, 1846, nos 973—992.

The Mining Journal, nos 565—584.

The American Journal, by Silliman; 1846, nos 1—4.

Proceedings of the Academy of natural sciences of Philadelphia; vol. III, mai—juin 1846, n° 3.

Neues Jahrbuch von Leonhard und Bronn; 1846, cahiers 3, 4, 5 et 6.

Bericht, etc. (Analyse des mémoires présentés à l'Académie royale des sciences de Berlin); juillet 1845—juin 1846.

Abhandlungen, etc. (Mémoires de l'Académie des sciences de Berlin pour 1844).

Nachrichten, etc. (Bulletins de l'Académie et de la Société royale des sciences de Gottingue); nos 8—12, juin—septembre 1846.

Correspondenzblatt, etc. (Feuille de correspondance de la Société royale d'agriculture de Wurtemberg); nouvelle série, t. XXIX, année 1846, 1^{er} vol. 2^e et 3^e cah.

Bulletin de la Société impériale des naturalistes de Moscou; année 1845, n° 4; année 1846, nos 1 et 2.

De la part de M. Van der Maelen, 1^o *Atlas administratif et*

statistique de la Belgique, carte n° 18; voies de communication; 1 feuille grand aigle. Bruxelles, 1845.

2° *Carte et tableau statistique des chemins de fer exécutés, concédés et projetés en Belgique; dressés par M. Van der Maelen; 1 feuille grand aigle. Bruxelles, 1846.*

3° *Carte itinéraire, historique et statistique des chemins de fer et autres voies de communication à vapeur de l'Europe centrale, dressée par G. Potenti de Pistoia; 1 feuille grand-aigle, (avec une Légende des matières; in-8°, 16 p.) ; publiée par Van der Maelen. Bruxelles, 1846.*

4° *Carte des routes existantes en Belgique avant 1795, exécutées depuis, sous les régimes français et néerlandais, et par le gouvernement belge jusqu'à 1846, dressée par Sano d'après les instructions de M. Teichmann; 1 feuille grand-aigle. Bruxelles, 1846.*

5° *Tableau statistique des chemins de fer du royaume de Belgique en 1846; 1 feuille grand-colombier.*

De la part de M. L. Pareto, *Carta geologica della Liguria maritima; 1 feuille grand-colombier.....*

M. d'Archiac présente, de la part de M. le comte de Keyserling, l'ouvrage que ce dernier vient de publier, en commun avec M. de Krusenstern, sur le bassin de la Petschora et les monts Timans (voyez ci-dessus). Ce travail, auquel il manque encore quelques parties, entre autres les planches de fossiles jurassiques, mais qui sera complété très incessamment, doit être regardé comme faisant suite à celui auquel M. de Keyserling a coopéré avec MM. Murchison et de Verneuil; seulement, en traitant d'une région si peu connue sous tous les rapports, les auteurs ont dû adopter un cadre différent.

M. de Keyserling me signale en outre, continue M. d'Archiac, l'existence, en Russie, à la base de la craie blanche, d'un lit de chaux phosphatée de quelques pouces d'épaisseur, mais qui s'étendrait sur une surface de plus de 800 verstes. Enfin, dans un second Mémoire qui est sous presse, notre confrère s'est attaché à démontrer que les Goniatices à lobe dorsal simple, si souvent associées au *Cardium palmatum*, caractérisent un groupe de couches particulier situé à la base du système dévonien à la Nouvelle-Zemble, dans les monts Timans, comme en

Allemagne, en Angleterre, et même dans l'État de New-York, où il est désigné sous le nom de *postage group*.

M. Alcide d'Orbigny présente, de la part de M. Joseph de Hauer, l'ouvrage sur les Foraminifères du bassin tertiaire de Vienne, découverts par ce savant. (Voy. ci-dessus p. 7.)

M. d'Archiac communique le passage suivant d'une lettre de M. de Verneuil, écrite des bords du Lac Supérieur (États-Unis), au mois d'août dernier.

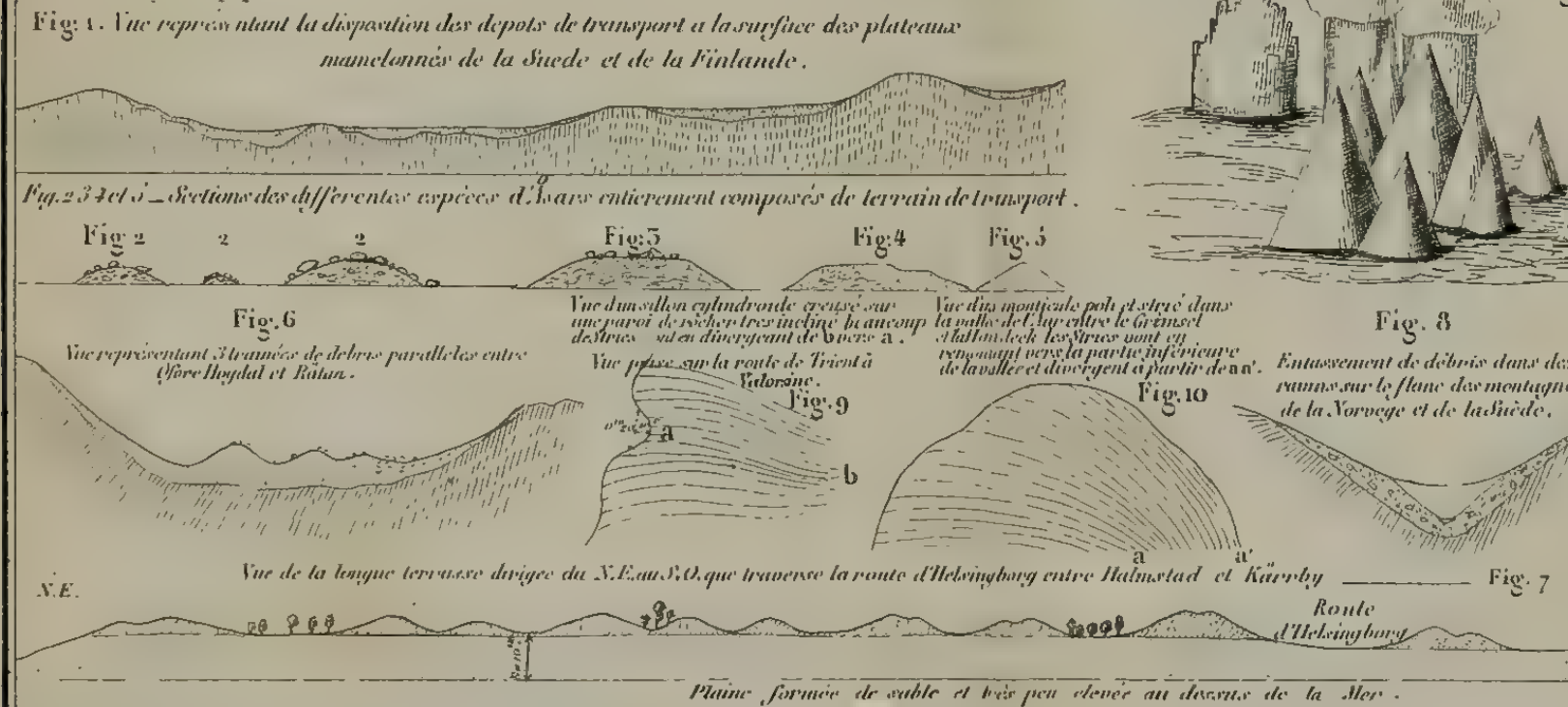
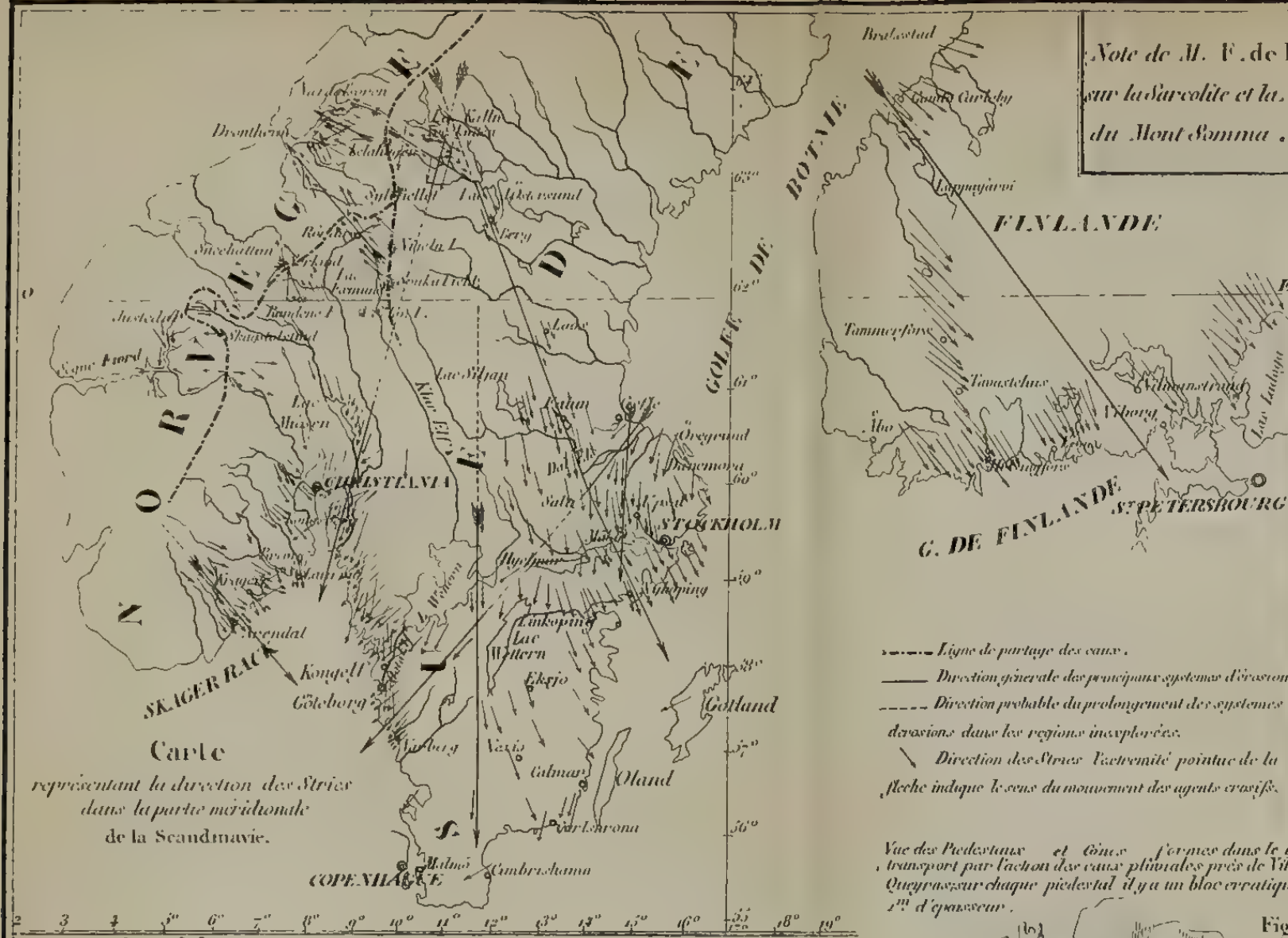
Après avoir quitté New-York et passé quelques jours à Albany, j'ai gagné Buffalo, en m'arrêtant à Trenton-Falls et dans quelques autres localités. J'ai ensuite passé trois semaines à parcourir l'État de l'Ohio en divers sens, et j'ai pu y étudier la superposition des couches sur lesquelles les travaux de MM. Mather et Locke ont jeté quelque lumière. J'y ai entrevu la nécessité de changer les limites des formations telles qu'elles avaient été établies. Les formations calcaires de cet État avaient été divisées en deux groupes, le *blue limestone* et le *cliff limestone*, que l'on comparait aux groupes siluriens inférieur et supérieur. J'ai reconnu facilement que la partie supérieure du cliff limestone correspondait au système dévonien de l'Europe, tandis que le grand étage des psammites, situé au-dessous du grès houiller et du calcaire de montagne, là où il existe, et que l'on appelait dévonien, devait être rangé dans le système carbonifère.

J'ai eu aussi le plaisir de retrouver au milieu de ce dernier système, dans l'État de l'Ohio, notre excellent guide en Russie, la *Fusulina cylindrica*; sa présence en Amérique m'a d'autant plus étonné que c'est un fossile propre aux parties orientales de l'Europe, et qu'on n'a jamais trouvé ni en Allemagne ni en Angleterre.

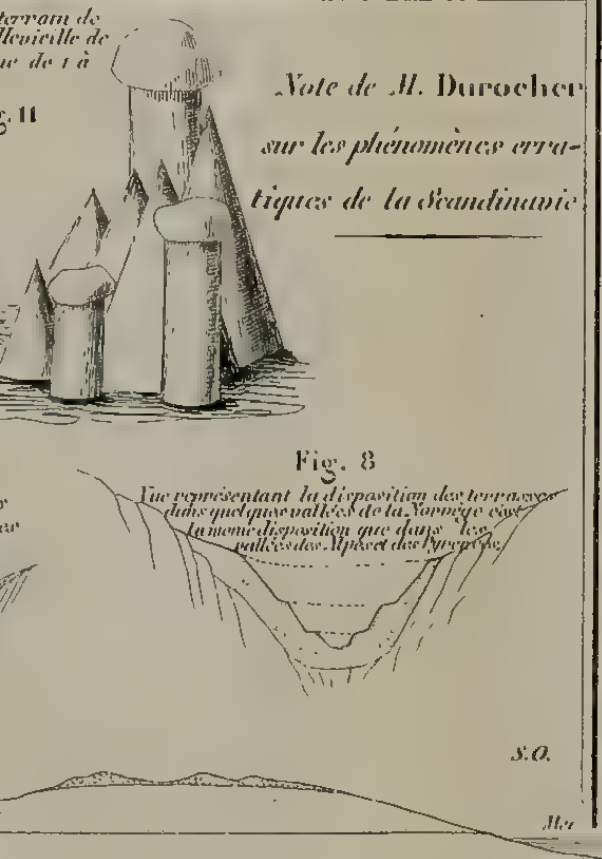
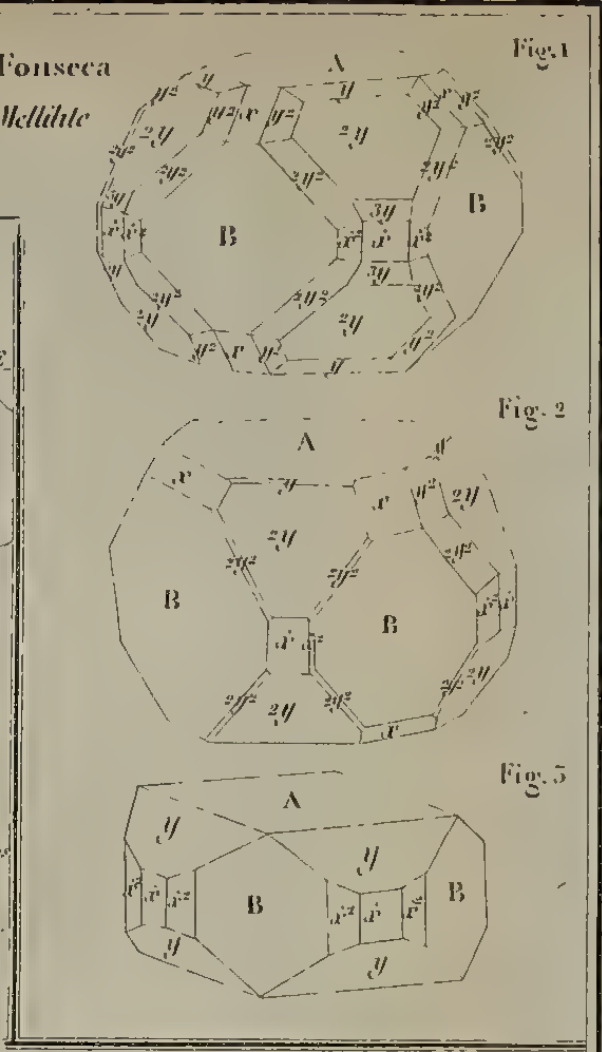
J'ai été ensuite dans l'État d'Indiana, et, accompagné de MM. Owen et Norwood, nous avons fait une visite à mon vieil ami le professeur Troost, de Nashville. J'ai trouvé chez lui une magnifique collection minéralogique, cristallographique et paléontologique. De Nashville je me suis rendu à Saint-Louis, où j'ai reconnu le calcaire de montagne blanchâtre comme en Russie, mais plus dur et plus compacte; j'en rapporte un superbe échinoderme, trouvé dans les environs de la ville même, et que M. Norwood décrira dans le journal de Silliman.

J'ai remonté le Mississipi jusqu'à la région métallifère de Galena, et je serais allé jusqu'aux chutes de Saint-Antoine, sans l'ex-

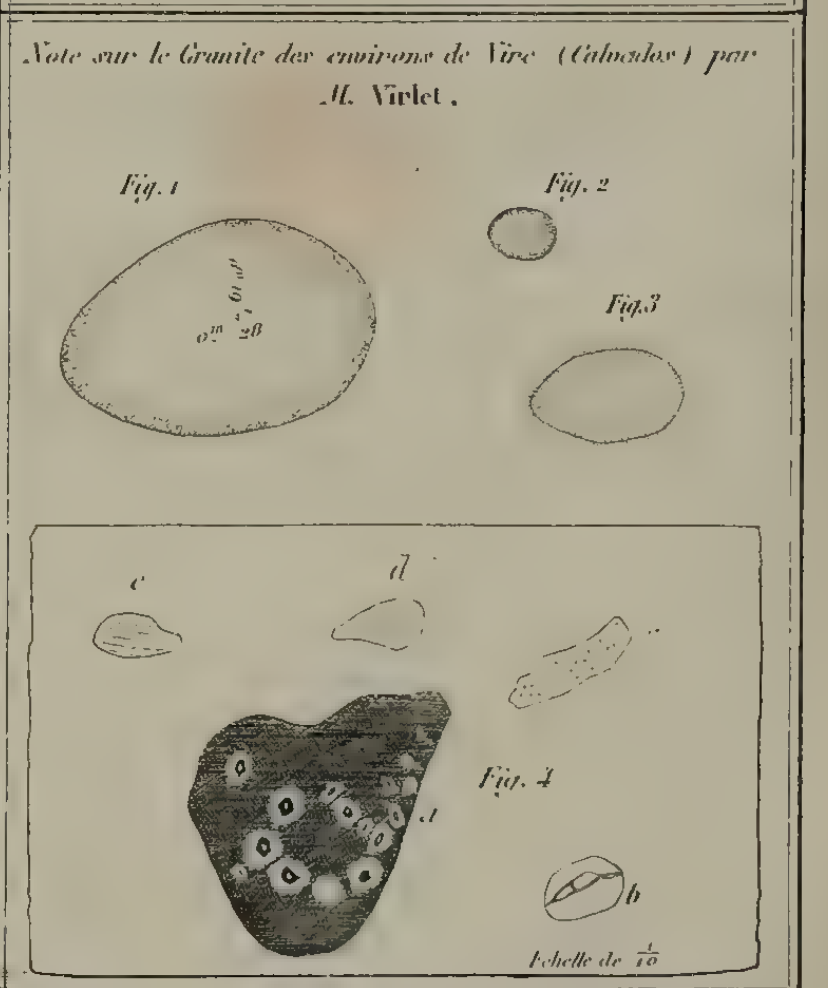
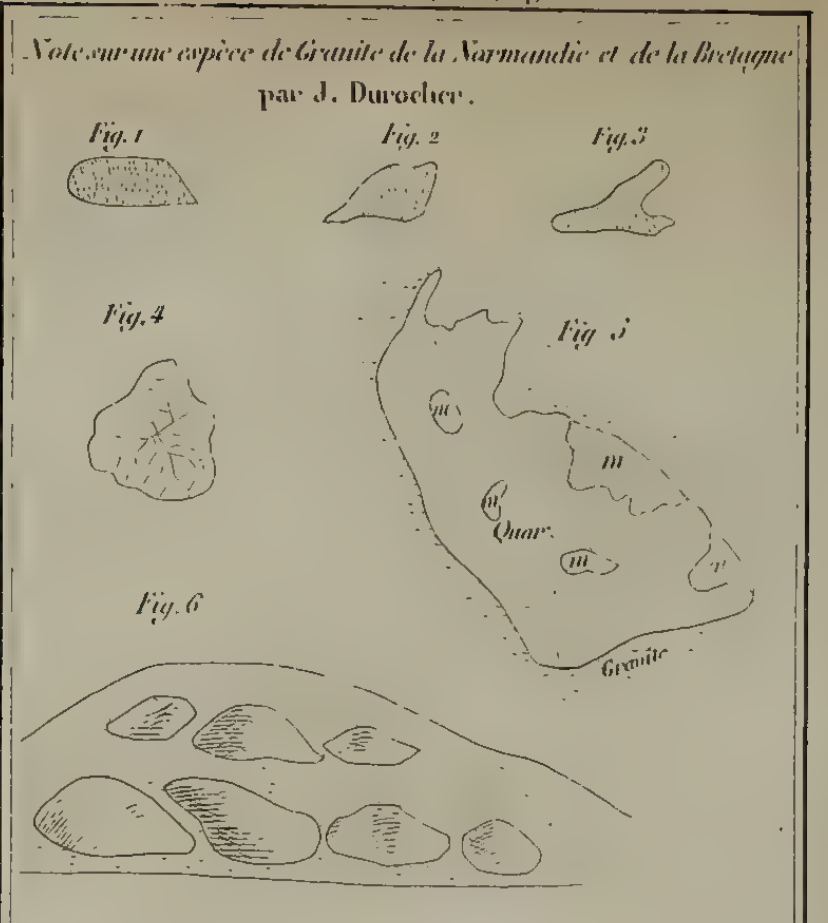




Grave sur pierre par les P^{res}. Nord - rue des Bernardins 18 Paris.



Grave sur pierre par les P^{res}. Nord - rue des Bernardins 18 Paris.



Grave sur pierre par les P^{res}. Nord - rue des Bernardins 18 Paris.

trême sécheresse qui avait interrompu la navigation dans cette partie du fleuve. Vous savez que toute cette région métallifère est formée par un calcaire magnésien plein de cavités dans lesquelles le plomb s'est accumulé : ce calcaire a été avec raison rapporté au calcaire silurien supérieur. A Dubuque, un peu au-dessus de Galena, on voit affleurer le calcaire bleu bien caractérisé comme silurien inférieur. Je rapporte de cette localité la plus grande orthocère que j'aie jamais vue.

De Galena, j'ai traversé les vastes prairies des Illinois. Sur la distance d'environ 60 lieues qui sépare Galena de Chicago, à l'extrémité S. du lac Michigan, j'ai pu, grâce à quelques affleurements, suivre le prolongement du calcaire magnésien, et à Chicago même j'ai trouvé quelques fossiles caractéristiques du système silurien supérieur : ce calcaire se voit encore à Mackinac. Plus au N., et près du saut Sainte-Marie, j'ai atteint le commencement de cette grande formation de grès qui borde la côte méridionale du lac supérieur. Dans l'île qu'on appelle *Grand-Island*, ce grès ressemble d'une manière frappante au grès bigarré : il est tantôt rouge sang ou rouge amaranthe, tantôt grisâtre, et souvent bigarré ; il est tendre et s'égrène sous les doigts, comme dans les Vosges. Ses couches sont horizontales.

En arrivant demain à la Rivière du Mort (*dead river*), j'atteindrai les premières éruptions de trapp qui marquent le commencement de la région métallifère. Il y a trois ans à peine, on n'avait pas encore pensé à exploiter le cuivre dans ce pays, et aujourd'hui il y a plus de cinquante compagnies formées, soit pour exploiter des mines déjà découvertes, soit pour en rechercher de nouvelles.

Les immenses prairies, si bien décrites par Cooper, habitées encore par les Indiens il y a douze ou treize ans, sont défrichées aujourd'hui avec une grande activité par les émigrants de l'E. de l'Union et même par ceux d'Europe. C'est une véritable terre promise. Toutes celles de ce côté du Mississippi sont couvertes du même terrain noir que la Russie nous a offert sur une si grande étendue ; mais ici l'herbe des prairies ne jaunit jamais, et lorsque je les ai traversées au mois d'août, avec une chaleur de 30°, elles étaient presque aussi vertes, aussi fleuries qu'au printemps.

Le Secrétaire donne lecture de la communication suivante :

Observations géognostiques sur la Sarcolite et la Mellilite du Mont Somma, par Ferdinand de Fonseca.

Naples, 15 juillet 1846.

Sarcolite Thomson. — C'est une substance vitreuse presque toujours de couleur de chair ; elle cristallise dans le système du prisme carré, terminé par plusieurs espèces de quadroctaèdres, dont le plus obtus a ses côtés inclinés à l'axe de $67^{\circ} 18'$. Elle fond au chalumeau avec grand développement de petites boules, et donne un globule d'émail blanchâtre, celluleux ; elle se délie aisément en gelée dans les acides, quand même elle ne serait pas pulvérisée. Quant à sa dureté, elle entame légèrement la phosphorite, et est entamée elle-même par le feldspath : elle n'a pas de clivage apparent ; elle se compose de silex, d'alumine et de chaux, en proportions non exactement déterminées.

Variétés. — Cette espèce est de couleur de chair de plusieurs nuances ; on la trouve rarement d'un gris foncé. La surface de ses cristaux est souvent légèrement voilée de chaux carbonatée, qui en diminue beaucoup la clarté : dans les fractures récentes on y aperçoit un grand éclat vitreux approchant l'adamantin ; lorsque les cristaux ne sont pas ternis par des substances étrangères, ils sont d'ordinaire transparents. Leurs dimensions sont en plusieurs occasions les mêmes en hauteur et en largeur, et comme ils se terminent par un grand nombre de facettes, parmi lesquelles celles qui sont de la même espèce n'ont pas les mêmes proportions dans leur étendue, ou manquent tout-à-fait, il arrive naturellement qu'il est fort difficile de se faire une idée précise de la forme du cristal qu'on voudrait observer. La fig. 1 (pl. I) représente la forme idéale sous laquelle chaque facette garde la proportion qui lui est propre. Outre les faces du prisme carré $AB B$, qui sont ordinairement les plus grandes, on y remarque trois espèces d'octaèdre normal y , $2y$, $3y$, une espèce d'octaèdre diagonal x , deux espèces de dioctaèdre $y2$, $2y2$, les faces latérales du prisme carré diagonal $\dot{x}$, et les faces latérales d'un prisme octangulaire $\dot{x}2$. De toutes ces faces, dont nous donnerons les mesures goniométriques dans le tableau suivant, les plus fréquentes et les plus étendues sont ordinairement $AB 2y \dot{x}$, auxquelles se réunissent généralement les autres $2y2$, y et x , moins étendues que les précédentes ; on trouve moins fréquemment les facettes $y2$, $3y$, et $\dot{x}2$.

Mesures goniométriques de la sarcolite. —

A sur B	=	{	90°, 0' n.
A $\dot{x}$	=		
A $\dot{x}^2$	=		
A x	=	138°, 25' n.	138°, 25' Brooke.
A y	=	157°, 18' n.	157°, 19' Brooke.
A $2y$	=	128°, 33' n.	128°, 33' Brooke.
A $3y$	=	111°, 43' n.	
A y^2	=	136°, 55' n.	
A $2y^2$	=	109°, 37' n.	
B B	=	90°, 0' n.	
B x	=	131°, 35' n.	
B $\dot{x}$	=	135°, 0' n.	135°, 0' Brooke.
B $\dot{x}^2$	=	153°, 26' n.	153°, 26' Brooke.
B y	=	105°, 50' n.	
B $2y$	=	123°, 34' n.	123°, 34' Brooke.
B $3y$	=	131°, 4' n.	
B y^2	=	130°, 24' n.	
B $2y^2$	=	153°, 20' n.	

Observations. — La sarcolite a été pour la première fois découverte dans les blocs erratiques du Mont-Somma par le docteur Thomson, qui n'a publié aucun travail sur ce sujet, que je sache, mais qui fit pourtant connaître sa découverte à plusieurs oryctognostes, donnant à ce nouveau minéral le nom de sarcolite, à cause de sa couleur de chair. Jusque là cette espèce n'avait été distinguée par aucun autre caractère, ce qui a occasionné beaucoup d'erreurs, le même nom ayant été donné à l'analcime rougeâtre de la vallée de Fasse, dans le Tyrol, et à l'hydrolite ou gmélinite, qui ont presque la même couleur. La même méprise en fait de couleur a fait que l'hydrolite et la vraie sarcolite ont été regardées comme des variétés de l'analcime, et M. Breisth, dans ses *Institutions géologiques* publiées en 1818, les a entièrement confondues. Voilà ce qu'il en dit : « La sarcolite ou l'analcime trapézoïdale de couleur de chair, fréquente dans le Tyrol et dans le Vicentin, a été encore reconnue par Thomson dans les laves erratiques du Mont-Somma, et dans celles du Cap de Bove, près Rome. » Le célèbre Haüy confirma encore cette méprise, parce qu'ayant reçu de M. Thomson la sarcolite du Mont-Somma, il dit, dans la seconde édition de son *Traité de Minéralogie*, publié en 1822, pag. 173 (1), que les mesures goniométriques qu'il

(1) Il existe à la montagne de la Somma..... des cristaux d'un rouge

a exécutées lui ont donné l'inclinaison des facettes 2γ , non seulement sur A, mais encore sur B B, presque égale à 125° , de sorte qu'il en concluait que le prisme A. B. B était un cube, et les facettes 2γ un octaèdre régulier. Il paraît, sans doute, qu'il est tombé dans cette méprise à cause de l'imperfection de son goniomètre, puisque, ainsi qu'on l'aperçoit dans le tableau sus-indiqué, les facettes 2γ sont inclinées sur A de $128^\circ 33'$, et sur B B de $123^\circ 34'$, c'est-à-dire qu'il y a une différence assez importante de cinq degrés. Cependant son opinion avait été reçue par tous les minéralogistes, jusqu'à ce que Brooke (1), il y a quinze ans, fit connaître, par d'exactes mesures goniométriques, les caractères cristallographiques de notre sarcolite, ayant ainsi démontré l'impossibilité de réunir la sarcolite de Thomson, dont les cristaux se rapportent au système du prisme carré, soit à l'analcime, soit à l'hydrolite, qui cristallisent l'une dans le système du cube, l'autre dans le système du prisme hexagonal. D'ailleurs il ne faut pas omettre que du dioctaèdre $\gamma 2$ Brooke ne rapporte que la moitié des faces, deux à deux, prises alternativement, savoir, la forme hémiedre. Mais il ne me paraît pas que cette opinion soit conforme au fait, puisque, ainsi qu'on le voit dans un cristal dessiné dans la fig. 2 avec toutes les particularités qui existent dans l'original, on n'y aperçoit qu'une seule des seize faces nécessaires pour compléter le dioctaèdre $\gamma 2$. Il manque pareillement quelques unes des faces latérales du prisme octogone $\alpha 2$ A du quadratoctaèdre diagonal α etc., ce qui ne peut certainement pas se rapporter à l'hémiedrie, et l'on doit plutôt retenir que les faces qui manquent ont disparu à cause de la grande étendue des autres qui leur sont contiguës. Plusieurs écrivains d'ouvrages minéralogiques, parmi lesquels nous citerons Necker (2), Thomas

de chair, dont la forme est celle d'un parallépipède rectangle avec huit facettes à la place des angles solides. M. Thomson, à qui la découverte est due, leur a donné le nom de *sarcolite*. D'après les observations que j'ai faites sur des fragments de ces cristaux, qui m'avaient été envoyés par ce célèbre naturaliste, l'incidence de chaque facette additionnelle sur les faces adjacentes du parallépipède ne s'écarte pas beaucoup de 125° , ce qui paraîtrait indiquer que les faces principales font entre elles des angles droits. Ces cristaux ayant un tissu vitreux, et étant assez durs pour rayer le verre, j'ai présumé qu'ils étaient une variété de l'analcime, p. 177.

(1) *Philosophical magazine and annals for sept.* 1831.

(2) *Le règne minéral ramené aux méthodes de l'histoire naturelle.* Paris, 1835.

Thomson (1), etc., etc., ont continué à regarder la sarcolite comme une variété de l'analcime, ignorant peut-être le travail de M. Brooke. D'autres auteurs, ainsi que Haidinger (2) et Allan (3), etc., etc., en retenant toujours que la sarcolite cristallise dans le système du cube, ont séparé la sarcolite de l'analcime, parce que dans ces formes on reconnaît l'octaèdre et le rhombododécaèdre en place du trapézoèdre.

Quant à la composition chimique de notre espèce, elle a été ignorée jusqu'à ce que le professeur Scacchi, d'après son analyse publiée en 1842 (4), eut trouvé qu'elle était composée de silice, d'alumine et de chaux, sans aucune trace d'eau, qui est un des éléments nécessaires à la formation de l'analcime et de l'hydrolite. La formule qu'il en a obtenue, quoiqu'elle ne soit pas donnée avec assez

de certitude, est $3\text{Ca}, \text{Si} + \text{Al}, \text{Si}$; à l'égard de la proportion des éléments, on pourrait croire la sarcolite d'une composition identique à celle du grenat (grossulaire), et on aurait dans ce cas un exemple de dimorphisme. D'autre part, si l'on voulait regarder l'idocrase, quant à sa composition analogue au grenat, il en résulterait que l'idocrase et la sarcolite formeraient deux espèces de composition analogues et appartenant au même système de cristallisation, mais avec des mesures goniométriques tout-à-fait incompatibles pour la même espèce, parce que, en comparant l'inclinaison de la base du prisme sur les faces des quadratoctaèdres, on a dans chaque espèce, par les mesures qui se rapprochent davantage, une différence qui surpasse deux degrés, (A. $4\gamma = 113^{\circ}48'$ dans l'idocrase, A. $3\gamma = 111^{\circ}43'$ dans la sarcolite.)

La sarcolite est une espèce des plus rares et des plus belles parmi celles qu'on rencontre dans les blocs erratiques du Mont-Somma. Jusqu'ici elle n'a été trouvée dans aucune autre localité; la roche dans laquelle elle se montre est très souvent formée de mellilite, d'augite et de chaux carbonatée, qui, réunies ensemble, composent une masse presque homogène et d'une couleur verdâtre. On trouve souvent les cristaux de sarcolite réunis à ceux de mellilite et d'augite: et quelquefois je les ai trouvés mêlés au mica, à la chaux carbonatée et au grenat rougeâtre bien cristallisé.

(1) *Outlines of mineralogy, geology and mineral analysis*. London, 1837.

(2) *Monk's mineralogy translated*, by W. Haidinger. Edinburgh, 1825.

(3) *Philip's introduction to mineralogy*, by Allan. London, 1837.

(4) *Distribuzione sistematica dei minerali*. Napoli, 1842.

De la Mellilite du Mont-Somma.

Humboldtilite et Humboldilite Monticelli et Cavelli, Mellilite. — C'est une substance vitreuse ou pierreuse, à plusieurs nuances de gris et de jaunâtre. Elle cristallise dans le système du prisme à base carrée, terminé par un quadratoctaèdre, dont les faces sont inclinées à l'axe du cristal de $56^{\circ} 48'$. Sa dureté est en quelque sorte moindre que celle du feldspath : elle a un clivage peu net, parallèle à la base du prisme : elle est soluble en gelée dans les acides ; elle se fond au chalumeau en un émail jaunâtre ou brun, selon la couleur du minéral qu'on a employé. Elle se compose de silice, d'alumine, d'oxyde ferrique, et de plusieurs bases monoxides.

Variétés. — La couleur de la mellilite du Mont-Somma est souvent grise ou gris-blanchâtre, ou même gris-jaunâtre ; rarement elle est d'un brun jaunâtre, ou jaune de miel. Lorsqu'elle se présente avec un éclat vitreux, elle est transparente ; elle est, au contraire, pierreuse lorsqu'elle est rendue sale par des substances étrangères. Elle est presque toujours recouverte d'une couche fort mince de chaux carbonatée, qui la voile en lui faisant perdre l'éclat et la couleur. Ses cristaux ont presque toujours la même mesure en hauteur et en largeur : quelquefois ils se montrent très écrasés, jusqu'à former des lames ; ils présentent tantôt le prisme A B B isolé, et tantôt des arêtes latérales coupées par une face unique ou par trois faces, x ou $x2$. Il est fort rare d'y trouver les angles trièdres coupés par les facettes de l'octaèdre ; on trouvera l'ensemble de toutes ces formes cristallines dans la fig. N 3 et toutes leurs mesures goniométriques dans le tableau suivant. Outre sa variété bien cristallisée, on rencontre pareillement cette espèce en masses amorphes ou en cristaux fort allongés dans le sens de l'axe vertical, et circonscrits par seize faces latérales, si bien qu'ils semblent autant de petits bâtons cylindroïdes. Enfin, on la trouve conformée en paquets de fibres, qui convergent le plus souvent à l'une des extrémités et divergent à l'autre.

Mesures goniométriques de la Mellilite.

$$\begin{array}{l} \text{A sur B} = \\ \text{A} \quad \dot{x} = \\ \text{A} \quad x2 = \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{A sur B} = \\ \text{A} \quad \dot{x} = \\ \text{A} \quad x2 = \end{array}} \right\} 90^{\circ}.$$

$$\text{A} \quad y = 146^{\circ}, 48' n., 147^{\circ}, 5' \text{ Somervellite de Brooke.}$$

$$\text{B} \quad B = 90^{\circ}.$$

$$\text{B} \quad \dot{x} = 135^{\circ}, 0' n., 135^{\circ}, 0' \text{ Somervellite de Brooke.}$$

$$\text{B} \quad x2 = 164^{\circ}, 34' n.$$

$$\text{B} \quad y = 112^{\circ}, 47' n.$$

Observations. — La mellilite de notre Vésuve fut reconnue pour

la première fois par Monticelli et Cavelli, qui, en la regardant comme une nouvelle espèce minéralogique, la dédièrent au savant baron d'Humboldt, en la décrivant et en en faisant une analyse quantitative (1), sans annoncer cependant ses mesures goniométriques. Peu de temps après, M. Brooke eut entre ses mains une variété de cette substance de couleur jaunâtre, et ne trouvant pas d'autre minéral qui eût en commun avec elle les mesures goniométriques, il la regarda comme une substance nouvelle et l'appela somervillite (2). Les deux illustres minéralogistes M. Beudant et M. Necker rapportent dans leurs traités de minéralogie la somervillite de Brooke comme une variété de l'idocrase, quoique l'octaèdre de la première soit incliné à l'axe du cristal de $56^{\circ} 48'$, et celui de la seconde, qui s'en rapproche davantage, de $52^{\circ} 55'$. Nous ne saurions adopter cette opinion, parce que la différence est presque de quatre degrés. En 1835, M. de Kobell (3) entre autres analyses, publia celle de la mellilite du

Vésuve, en en tirant cette formule : $N Si^3 + 5 A, Si + 12 \begin{Bmatrix} Ca \\ Mg \\ Fe \end{Bmatrix} Si$.

Le professeur Scacchi, en 1842 (4), annonça, dans une note de sa *Distribution systématique des minéraux* que la somervillite était la même espèce que l'humboldilite. Enfin M. Damour (5), en analysant, il y a trois ans, le minéral du Vésuve et celui du Cap de Bove, les trouva tous les deux identiques dans les qualité et quantité de leurs composants, et les réunit en une seule espèce, en conservant plutôt le nom d'humboldtilite que celui de mellilite, et en déduisant pour formule commune $(\ddot{Al} \ddot{Fe}) \ddot{Si} + (\dot{Ca}, \dot{Mg}, \dot{K}, \dot{N}) 3 \ddot{Si}$. J'ai adopté, au contraire, le nom de mellilite de préférence à celui de humboldtilite, parce que le premier est plus ancien que le second.

Bien que la mellilite ne soit pas un minéral très fréquent parmi ceux du Mont-Somma, on la retrouve toutefois dans plusieurs

(1) *Prodromo di mineralogia Vesuviana*, di J. Monticelli e M. Cavelli. Napoli, 1825.

(2) *Quarterly journal of sciences*, XVI, 276, ex Allan et Phillips.

(3) *Javale per riconoscere i minerali*, di Fr. de Kobell. Firenze, 1842.

(4) *Distribuzione sistematica dei minerali per cuva*, di Ar. Scacchi. Napoli, 1842.

(5) *Nouvelles analyses et réunion de la Mellilite et de la Humboldtilite*, par M. A. Damour (extrait des *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. X).

espèces de blocs erratiques. Les plus remarquables dans lesquelles je l'ai rencontrée, sont les suivantes :

1° Bloc de couleur verdâtre composé de pyroxène, mellilite bien cristallisée, spath calcaire ; agrégat qui, par méprise, a été regardé par quelques uns comme une espèce minéralogique particulière, et appelé *zurlite*, et dans lequel on trouve des cristaux de sarcolite, de sphène, de néphéline, de mélanite et de mica.

2° Bloc de couleur blanchâtre, formé presque tout entier de petits cristaux de mellilite, avec peu de pyroxène et fort peu de chaux carbonatée.

3° Bloc composé en grande partie de mica, de quelque peu de pyroxène et de mellilite recouverte de chaux carbonatée en cristaux bien nets, ou en lames octangulaires sur l'agrégat, ou bien tapissant les géodes formées dans le bloc.

4° Bloc formé de leucite et de mellilite voilée de chaux carbonatée, qui se présente en cristaux bien allongés, cylindroïdes, parsemés de pyroxène granulaire.

5° Bloc fragile de pyroxène de sommite et de mellilite, qui se montrent en cristaux crevassés, fragiles et imparfaits, tous confusément cristallisés avec texture granitoïde.

6° Bloc de spath calcaire lamelleux parsemé de cristaux de mellilite semblables à ceux de l'idocrase, qui pénètrent souvent les uns dans les autres.

7° Bloc de mellilite massive, couleur jaune de miel, translucide, pénétré par des cristaux de fer oxydulé, formant des vides dans sa masse, tapissés de cristaux de mellilite et de wollastonite.

8° Lave pyroxénique trouvée près de Pollena, renfermant dans ses géodes de jolis cristaux de pyroxène vert, avec d'autres de mellilite jaunâtre ou rougeâtre.

Le secrétaire lit ensuite la note suivante de M. Parrot :

Observations sur la note de M. Virlet d'Aoust, insérée dans le Bulletin de la Société géologique de France, 2^e série, tome II, janvier et février 1845, p. 198, par M. Parrot, membre émérite et honoraire de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg.

Saint-Petersbourg, avril 1846.

Ces observations concernent uniquement ce qui a été dit dans cette note, p. 219, sur mon travail concernant les pierres d'Imatra, inséré dans les mémoires de l'Académie de Saint-Petersbourg, 6^e série, sciences mathématiques, physiques et naturelles, t. V.

Après une description pittoresque de la belle contrée d'Imatra,

suit l'ouvrage proprement dit, qui se partage en six chapitres : *Descriptions des formes extérieures ; Structure intérieure ; Propriétés physiques et chimiques ; Relations géognostiques ; Résultats tirés immédiatement des faits ; Hypothèses sur la formation des pierres d'Imatra.*

M. Virlet condamne, comme inutile dans la description des formes extérieures, l'idée de partager ces diverses formes en monotypes, bitypes, etc., parce que le même type se trouve répété dans la même pierre, et prétend que « les pierres d'Imatra ne sont que des nodules argilo-calcaires dont les formes et réunions peuvent et doivent même nécessairement varier à l'infini. » Mais cette division est précisément ce qui m'a guidé dans l'observation de la réunion de plusieurs monotypes en une seule pierre, observation de grande importance dans la théorie.

M. Virlet se trompe en ce qu'il nomme ellipsoïdales les formes des pierres monotypes qui ne sont pas des sphéroïdes. Ces pierres ne sont nullement ellipsoïdales, mais ovales, comme je l'ai dit et dessiné, c'est-à-dire plus pointues à un bout qu'à l'autre (1). Cette différence est essentielle et se trouve dans tous les bitypes, tritypes, etc., formés de monotypes agglutinés l'un à l'autre dans le même plan et dans la même direction du grand axe. Je n'en ai trouvé aucun où l'agglutination ait eu lieu dans le sens d'un petit axe, mais quelques uns dans un sens oblique.

L'assertion de M. Virlet, que les formes et les réunions des pierres d'Imatra peuvent et doivent varier à l'infini n'est pas juste. Les formes n'ont que deux caractères généraux, les pierres à moulures et les pierres à rainures, et les jonctions qu'une seule forme, celle de deux ou de plusieurs ovales par le bout étroit (voy. les fig.). Je puis assurer en outre que le grand nombre d'exemplaires que je possède, et ceux que j'ai vus sur les lieux, offrent la même loi.

Je demande à présent si des corps à types si constants, si régulièrement construits, composés d'individus réunis sous une loi si constante, peuvent être jetés dans la classe des nodules amorphes.

M. Virlet m'accuse de n'avoir pas prêté attention à la correspondance des différentes nuances des zones parallèles intérieures avec les disques (moulures ou rainures) à l'extérieur. Ce reproche est au moins un peu fort ; car j'ai dessiné moi-même les contours intérieurs et extérieurs de ces figures qui se trouvent sur les

(1) On peut, si l'on veut, considérer l'ovale comme une ellipse, mais à équation d'un degré supérieur, comme je l'ai enseigné il y a cinquante à soixante ans dans la description de mon ellipsographe, au moyen duquel on peut dessiner ces ellipses dans toutes les proportions voulues.

planches XI et XII, et je n'ai abandonné que les teintes au lithographe : ce n'est pas non plus un autre auteur qui a écrit le second chapitre intitulé : *Structure intérieure des pierres d'Imatra*, où la symétrie en question est décrite très au long, de même que les corps étrangers trouvés à l'intérieur et les dérangements occasionnés par eux dans les stries.

M. Virlet assure que les pierres d'Imatra ne sont autre chose que des *nodules argilo-calcaires formés au milieu d'argiles sablonneuses*. Je vais considérer cette assertion sous deux points de vue, celui de la composition de ces masses et celui de leur gîte.

A. Les pierres d'Imatra sont composées de :

Chaux carbonatée. . .	0,4897
Silice.	0,4916
Alumine ferrugineuse. .	0,2683
Soufre.	0,0444
Eau hygrométrique. .	0,0060

Je prends la liberté de demander d'où vient le presque $\frac{1}{5}$ du tout en silice, et presque $\frac{1}{50}$ en soufre? La pierre trouvée dans l'Amérique du Nord, assez semblable à la figure 21, planche IV, a fourni en silice 0,331 et en soufre 0,052, ainsi plus que les pierres d'Imatra. Ne trouve-t-on pas remarquable cet accord entre des pierres isolées et trouvées à de si énormes distances? Cela ne prouve-t-il pas que la silice et le soufre sont des parties constituantes, non fortuites, de ce genre de pierres?

B. Où ai-je trouvé les pierres d'Imatra? Sur le bord d'un fleuve, dans le sein d'une montagne dont la composition est :

Sable insoluble par l'acide hydrochlorique. .	0,3350
Silice.	0,3633
Alumine ferrugineuse.	0,2770

J'ai été étonné de n'y pas trouver la moindre portion de chaux carbonatée, ni de soufre, ni une seule coquille visible à la loupe. Et ces pierres sont ensevelies dans une masse de cette terre de 36 pieds de hauteur et dont on ne connaît pas la profondeur au-dessous du fleuve. Il n'y a là ni lias, ni marne qui puissent échanger leurs portions inégales de chaux.

Peut-être on me répondra, que les pierres d'Imatra n'ont pas été formées là où on les trouve aujourd'hui; mais ce serait en vain. Le granite, auquel plusieurs de ces pierres sont agglutinées, se distingue par le grain et la couleur des grandes masses au travers desquelles l'Imatra roule ses flots écumeux. Si l'agglutination avait eu lieu ailleurs, toutes ces pierres seraient écorchées,

auraient perdu leur belle forme ou eussent été entièrement fracturées. Mais on n'observe rien de tout cela; nulle part on n'y voit le moindre signe d'un transport à travers des quartiers de roches ou de masses sablonneuses. Il en est de même des pierres d'Imatra libres.

Ainsi, il est bien prouvé que ces pierres ont été formées dans le gîte où on les trouve aujourd'hui, dans un terrain sans calcaire et sans soufre, qui ensemble font la moitié de tout leur poids, matières dont nous ne pouvons trouver la source que dans des êtres organisés et pétrifiés. Ainsi, la pierre d'Imatra est un *ens sui generis* indépendant de son gîte.

M. Virlet dit (p. 220), que je parais disposé à admettre l'hypothèse stalactique. J'ai dit (p. 97): « Le principe de la filtration » qui est celui de la formation des stalactites, fournit une hypothèse de formation qui, au premier coup d'œil, paraît pouvoir » expliquer celle des pierres d'Imatra » et j'indique à peu près comment on pourrait s'y prendre; puis suit la théorie de la formation des stalactites, d'où je tire la manière dont on pourrait s'imaginer en gros la construction des pierres d'Imatra dans ces principes; puis j'ajoute: « Mais cette apparente simplicité de » construction est tout ce que nous pouvons dire en faveur de cette » hypothèse qui succombe sous les objections suivantes. » J'en ai fait de même dans l'examen des autres hypothèses. Ainsi, si, en alléguant impartialement ce que l'on peut dire en faveur d'une hypothèse avant de la réfuter, je me suis déclaré plus ou moins disposé à l'admettre, je dois avouer que je l'ai fait en faveur de toutes celles que j'ai totalement refusées.

M. Virlet dit: « On peut aussi reconnaître, à l'inspection des » figures de l'auteur, que plusieurs de ces nodules, gênés dans leur » développement par le voisinage des fragments de granite, semblent comme brisés ou pénétrés par ces corps étrangers qui dérangent ainsi l'harmonie habituelle de leurs formes, et que » d'autres ont été réellement brisés postérieurement à leur formation et offrent de véritables failles remplies de terre jaune ou » noire. »

Quelque attention de plus aurait évité, de la part de M. Virlet, l'obscurité (pour ne pas dire les erreurs) qui règne dans ce passage. Voici le résultat qu'on doit tirer de mes dessins:

Les pierres d'Imatra que j'ai décrites comme adhérant fortement à des morceaux de granite se trouvent sur les planches IX et X, à quoi il faut ajouter la figure 25 de la planche XIII. Ces morceaux de granite varient de la grosseur d'une noisette jusqu'au poids de 31 livres 1/2 russes. Cette adhésion n'a nullement détruit

ou même altéré le type de la pierre ; seulement la pierre est contournée sur la surface adjacente du granite , sans déranger la régularité du dessin. Dans quelques exemplaires le petit morceau de granite est enveloppé de la masse de la pierre jusqu'à moitié , plus ou moins ; dans un exemplaire (fig. 53) il se trouve un morceau tacheté de quartz , totalement enterré dans la pierre d'Imatra. Sur aucune de ces pierres on n'aperçoit ni fente , ni rupture quelconque , aucun écrasement avec rupture. D'autres pierres d'Imatra (mais aucune de celles qui se trouvent accolées à des granites) telles que les fig. 38 , 39 , 40 , pl. VII , et fig. 41 , 42 , pl. VIII , sont plus ou moins écrasées , mais sans aucune rupture , quoique deux d'entre elles (fig. 40 et 41) soient très minces.

Il suit de ces faits que les pierres d'Imatra ont été primitivement très molles , ainsi dans un autre état que l'état actuel. Car si leur composition était assez argileuse pour subir une telle compression sans se briser , elles se trouveraient , continuellement en contact avec le fleuve , encore dans l'état mou.

Si ces pierres avaient été formées , comme on l'assure , par des migrations de terre calcaire à travers diverses couches de marne , comme on le suppose pour les pierres de Lyme-Regis , quelle révolution n'eût-il pas fallu pour enlever les couches dans lesquelles celles d'Imatra étaient enterrées , et eussent-elles résisté avec toutes ces fines et régulières moulures ? Celles qui sont écrasées ne se trouvent que parmi les roches chaotiques du granite qui font la lisière du rapide ; plus bas , où les quartiers de granite cessent , je n'en ai plus trouvé d'écrasées , quoique là elles se trouvent par milliers avec toute la pureté de leurs formes.

Quant à ce que j'ai dit des électromanes , on peut le pardonner à un vétérinaire qui a vu naître plusieurs générations de physiiciens , et qui ne voulait blesser personne , et moins qui que ce soit M. Becquerel , que j'honore infiniment. Mais puisque l'hypothèse électrique a été nommée par M. Virlet d'Aoust , et que je n'en ai pas fait une mention particulière dans mon mémoire , je vais me permettre de l'analyser ici.

Le premier principe sur lequel se base l'hypothèse électrique est que l'électricité est capable de transporter des substances pondérables. J'avoue qu'en envisageant les phénomènes connus , je ne puis adhérer à ce principe. Je ne vois partout que des chocs ou des courants qui éloignent de la pointe électrique des corps concrets très déliés ou des fluides vers des corps neutres ou chargés de l'électricité opposée. Mais de là jusqu'au transport de matière concrète , quelque déliée qu'elle soit , à des distances très considérables au travers d'épaisses couches géologiques , c'est ce que je

ne puis admettre , tant qu'aucune expérience n'en aura pas prouvé la possibilité. Que l'on prenne une poudre calcaire ou autre , de la plus grande finesse , comme les poudres d'apothicaires nommées *impalpables* , et deux tables , l'une de marne ou de lias sur le devant et une de schiste derrière et en contact avec l'autre , sèches ou humides , et que l'on emploie une électricité très intense pour chasser la poudre au travers de la plaque antérieure sur la postérieure , la poudre arrivera-t-elle à sa destination ? j'en doute fort , même si la plaque antérieure n'avait qu'une ligne d'épaisseur.

L'on objectera peut-être que les pulvicules que nous pouvons produire sont trop grossières. Mais si l'électricité naturelle (galvanique) en peut produire de plus fines (et elle le doit dans l'hypothèse , puisqu'elle doit enlever ces pulvicules à la roche) que l'on emploie l'électricité à cette pulvérisation.

Si l'on répond que cette pulvérisation et ce transport n'ont pas été exécutés subitement , mais peut-être dans des siècles , je demanderai , puisqu'il s'agit ici d'une force mécanique , si une force très intense ne peut pas faire en très peu de temps l'effet d'une force très faible dans un temps très long. On pourrait , il est vrai , objecter , par exemple , que des poutres résistent pendant quelques jours à un certain poids et finissent par se casser au bout de quelques mois. Cela est vrai ; mais nous avons des poutres qui résistent pendant des siècles , et il suffit pour cela que le poids dont on les charge ne soit que $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ du poids sous lequel elles rompent au moment où on les charge , et quelle énorme proportion n'a-t-on pas entre la décharge d'une forte batterie ou le courant continu d'une grande machine électrique à ces minimes degrés d'électricité , que l'électrométrie peut seule nous rendre sensibles !

Je passe à une seconde question concernant l'existence de l'électricité qui doit avoir eu lieu pour produire les concrétions dont nous parlons. Assurément ce n'est pas l'auteur de la *Théorie chimique de l'électricité* qui niera la possibilité de la production de faibles degrés entre les couches hétérogènes plus ou moins humides des roches ; mais il se permet d'affirmer que , à l'exception des cas où la roche contient des métaux non oxydés , cette électricité sera très minime. Il pense de même que le cas peut avoir lieu où certaine suite de couches produise l'électricité en sens opposé à celle d'une autre et la neutralise. Il rappelle en outre le théorème qui lui appartient également , que la chaleur , la lumière et l'électricité s'affaiblissent considérablement en passant au travers de matières hétérogènes pondérables , et que par conséquent l'électricité produite entre les couches dont se compose

l'écorce de notre globe doit se trouver très affaiblie avant d'être arrivée à la surface ou à peu près.

En effet, cette surface ne nous a encore décelé aucun degré permanent d'électricité, et ne peut, d'après les grandes et belles expériences faites récemment sur la force conductrice de la terre, qui s'est trouvée un parfait conducteur pour les petits degrés d'électricité, nous en déceler aucun. Il y a plus : l'électricité d'un seul couple voltaïque disparaît à l'instant lorsqu'on met un des pôles en contact avec la terre. Or, cela serait impossible si la terre était pénétrée d'une quantité d'électricité égale à celle que produit ce seul couple.

Mais il est encore une troisième considération, sous laquelle l'hypothèse électrique doit succomber. J'accorde pour un instant tout ce que réclame cette hypothèse; mais je demande comment ces petites pierres ont pu se former ainsi sous forme de nodules, rognons, etc., et nommément les pierres d'Imatra avec toutes les singularités que j'ai décrites et dessinées? M. de la Bèche, qui produit ces petits corps par des causes chimiques, assure avec raison que ces masses ont dû avoir été préalablement des strates, qui ensuite ont été découpées, au reste sans avoir assigné la cause de ces découpures, qui en a élargi et arrondi les extrémités. L'hypothèse électrique se trouve dans le même embarras. En effet, l'électricité, qui agit d'une couche à l'autre dans ces grandes strates géologiques, doit marcher également à travers ces strates et devrait former là, où on la fait travailler, une strate également modifiée sur toute l'étendue de sa surface, et non des rognons, nodules, poudingues, etc., à moins de supposer qu'entre ces masses il y ait eu des plaques de verre, de résine, de soufre ou autres isolateurs. Mais on n'a pas encore annoncé cette trouvaille, qui serait d'ailleurs si facile.

Je demande enfin comment, même dans la supposition de ces isolateurs et sans parler des stries intérieures, on expliquera les moulures si exactement exécutées, les rainures, les types superposés en dessus et en dessous de la couche du milieu et tant d'autres particularités qu'il est impossible de rapporter à un agent électrique, mais uniquement à une spontanéité.

En terminant ces considérations, je prie ceux qui voudront juger mon hypothèse de consacrer quelques heures à lire et à méditer *tout* mon mémoire, qui se trouve parmi ceux de l'Académie de Pétersbourg, 6^e série, sciences math., phys. et nat., tome V, publiés en 1840. Je les prie de ne pas chercher, avant tout, mon hypothèse pour la trouver insoutenable avant d'avoir lu attentivement les descriptions, les observations, les expériences,

les conséquences nombreuses qui précèdent. En général, j'ai droit d'attendre que, si l'on veut présenter une autre hypothèse que la mienne sur les pierres d'Imatra, ce soit une solution précise et logique, et non des assertions vagues du genre de celles que le siècle actuel n'a pas encore fait disparaître de la géologie.

M. Virlet répond que lorsqu'il a analysé le Mémoire de M. Parrot, il ne connaissait pas les pierres d'Imatra, mais que depuis il a eu occasion d'en voir un assez grand nombre d'échantillons, dont il possède plusieurs, et que l'inspection de ces pierres noduliformes l'ont confirmé dans l'opinion qu'elles sont bien le résultat d'un transport moléculaire, électrique ou non, postérieur au dépôt de la roche qui les renferme. En effet, à la cassure, surtout si on insuffle dessus, on reconnaît encore très distinctement les différentes zones ou strates du terrain, et leurs différents degrés de compacité, qui déterminent ou les rainures ou les moulures des nodules. Cette aggrégation de molécules calcaires ou siliceo-calcaires, qui sont venues s'interposer sur certains points au milieu des strates argilo-sableuses d'Imatra, et y former des nodules quelquefois très rapprochés et adhérents entre eux, est donc tout-à-fait analogue à celle qui a produit les *sphérosidérites*, les *ludus*, les *clavia* (nodules de plütanite), les *cherts*, les *chailles*, les *silex*, les minerais de fer en grains et géodiques d'alluvions ou ces minerais en plaquettes connus sous les noms de minerais des lacs, des marais, de prairies, de gazons, etc. (1), et même certains grès qui doivent leur ciment siliceux ou calcaire à un phénomène de transport moléculaire analogue. Enfin, les grès calcarifères cristallisés en rhomboèdres de Fontainebleau se sont encore formés de la même manière. Il y a des couches où les nodules sont encore bien plus nombreux qu'à Imatra, à ce point qu'ils se confondent les uns dans les autres, et qu'ils forment parfois des couches continues, où l'on ne distingue plus les formes nodulaires que par les ondulations que présentent les plans de surfaces. Quant à la présence du soufre à l'état de soufre dans les pierres d'Imatra, ajoute M. Virlet, le fait m'a paru assez difficile à expliquer pour que j'aie voulu le faire vérifier. J'ai prié, en

(1) Voir à ce sujet une nouvelle note insérée au *Bulletin*, 2^e série, t. III, p. 450.

conséquence un de nos jeunes chimistes, M. Alphonse Salvétat, de vouloir bien faire l'analyse d'une des pierres d'Imatra, rapportées par M. Édouard de Verneuil, et l'on peut voir par les résultats ci-après de cette analyse, que sa composition diffère essentiellement de celle trouvée par M. Parrot; ce qui peut tenir, au reste, à ce que les mélanges des matières qui composent ces nodules peuvent varier beaucoup, suivant les échantillons et même suivant les parties d'échantillons ou des couches qui les renferment; quant au soufre indiqué, il est très probable qu'il provient des réactifs employés: ainsi le carbonate de soude qui est très fréquemment mélangé de sulfate, pourrait, si on ne tenait pas compte de cette circonstance, donner un précipité de sulfate de baryte par le chlorure de barium.

Analyse d'une pierre nodulaire d'Imatra, en Finlande; par
M. Alphonse Salvétat, chimiste de la manufacture royale de porcelaines de Sèvres.

Cette pierre, attaquée comme à l'ordinaire par le carbonate de soude, a donné 34,06 de son poids de silice qui s'est dissoute complètement dans une dissolution de soude caustique assez étendue, en laissant cependant de légers flocons qui ont été reconnus être de l'acide titanique. Une seconde analyse a donné pour le poids de la silice titanifère 33,90 p. 100.

Soumise à un lavage par l'acide nitrique faible, cette pierre donne un résidu plastique, de la couleur de la pierre elle-même, ayant tous les caractères d'une argile impure, laissant dégager de l'eau par calcination, et prenant, sous l'influence d'une chaleur rouge, une couleur brun-rouge prononcée, par suite de la peroxydation du fer qui s'y trouve. Cette matière argileuse, soumise à des lévigationes opérées avec soin, et répétées souvent, laisse un résidu de sable micacé à grains assez gros et transparents. Le mica est incolore mais à reflets nacrés et verdâtres; on remarque aussi quelques grains noirs, solubles à froid dans de l'acide hydrochlorique. La présence du mica dans ces sables explique l'alcali, qu'une attaque par l'acide hydrofluorique m'a fait reconnaître.

J'ai fait, selon votre désir, de nombreux essais pour arriver à constater la présence du soufre, mais je n'ai pu en reconnaître la plus petite trace, et il est évident que la pierre que vous m'avez remise n'en renferme pas du tout; il paraît aussi résulter de mon analyse, comparée à celles qui ont été publiées, que le sable argileux, mêlé au calcaire, est très variable dans sa composition. Je

ne m'explique pas la forte proportion d'alumine ferrugineuse par rapport à la silice, trouvée dans ces analyses : l'argile la plus alumineuse n'en contient pas autant, et bien certainement là, elle est mélangée à une forte proportion de sable. Voici les résultats de mon analyse :

Acide carbonique	24,03	} carbonate de chaux. 47,80
Chaux.	26,77	
Eau.	2,51	} { argile sable. mica. } 52,20
Silice	34,06	
Alumine.	9,00	
Protoxyde et peroxyde de fer.	4,00	
Oxyde de manganèse.	2,00	
Alcali.	0,49	
Acide titanique et magnésie.	traces	
Perte.	0,44	
100,00		100,00

M. Durocher fait la communication suivante :

Études sur les phénomènes erratiques de la Scandinavie,
par J. Durocher.

Observations successives qui ont eu pour objet les phénomènes erratiques du Nord de l'Europe.

M. de Lasteyrie et M. Al. Brongniart ont décrit, il y a déjà longtemps, les caractères généraux des érosions et des dépôts erratiques de la Suède; plus tard, M. Sefström a déterminé les directions des stries dans le midi de cette contrée. Lors de son voyage dans le Nord, M. E. Robert a aussi observé ce phénomène; la même année, en 1839, M. Böhrlin et moi avons déterminé les directions des sulcatures dans des pays encore inexplorés, en Finlande et dans quelques parties de la Laponie. Les principaux faits du mémoire que j'ai rédigé sur ces questions, et qui se trouve dans la publication des voyages en Scandinavie (1), ont été mentionnés dans le rapport de M. Élie de Beaumont (2); j'y ai fait connaître les caractères des stries et du dépôt de transport, le gisement, la disposition des blocs erratiques, et leur dispersion en Russie, en Pologne, jusqu'au pied des montagnes de la Silésie, de la Saxe, du

(1) *Voyages en Scandinavie, en Laponie, etc. — Géologie.* Par J. Durocher.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 janvier 1842.

Hanovre, et dans les plaines des Pays-Bas. J'ai signalé la forme presque circulaire de leur limite extérieure, et leur distribution rayonnante à l'intérieur d'un vaste demi-cercle, dont Stockholm est le point central, et dont la circonférence passe aux environs de Kostroma, de Moscou, de Cracovie, de Leipzig, de Bréda, et dans le comté de Cambridge en Angleterre. Depuis cette époque, MM. Murchison et de Verneuil ont étudié ces phénomènes pendant leurs voyages en Russie et dans le midi de la Scandinavie. Je suis heureux de reconnaître que les observations relatées dans le bel ouvrage qu'ils viennent de publier sur la géologie de la Russie s'accordent pour la généralité des faits avec celles que j'avais publiées depuis plusieurs années; et la limite méridionale du terrain erratique, qu'ils ont tracée sur leur carte géologique, coïncide presque exactement avec celle que je lui avais déjà assignée : mais ils ont déterminé son extension, jusqu'alors inconnue, à l'E. du lac Onéga et de la mer Blanche.

Observations faites en Norvège.

Sur la partie du phénomène erratique relative à la Norvège, il a été publié moins d'observations que sur les contrées citées tout-à-l'heure; cependant, M. Keilhau a étudié depuis plusieurs années les directions des stries, et a reconnu, comme l'ont fait plus tard MM. Siljeström et Daubrée, qu'elles ne sont pas constantes, mais que dans le fond et sur les flancs des vallées profondes il y a des stries dirigées dans le sens de leur axe, et descendant des montagnes vers le littoral.

Dans le voyage que je viens de faire en 1845, j'ai cherché quelle est la liaison entre les sulcatures de la Norvège et celles de la Suède; le soin minutieux avec lequel j'ai relevé les directions des stries dans les contrées que j'ai explorées sur de très vastes étendues m'a conduit à des résultats nouveaux. J'ai reconnu que la surface de la Suède et de la Norvège a été érodée par plusieurs systèmes d'agents sulcateurs, qui ont suivi des marches différentes, et qui, dans certaines régions, se sont croisés sous des angles plus ou moins grands, se rapprochant parfois de 90°.

Caractères généraux des érosions dans la Scandinavie.

Jetons d'abord un coup d'œil sur les caractères généraux des érosions. A la surface des collines mamelonnées et arrondies, les sulcatures appartenant à un même système suivent une direction généralement constante, et ne subissent de déviation notable qu'à l'approche de massifs rocheux un peu étendus et d'une certaine

élévation. Souvent même sur des plateaux ondulés dont les parties hautes atteignent 1000 à 1200 mètres, et qui présentent des différences de niveau de 3 à 400 mètres, comme ceux de la contrée de Røraas, les stries possèdent une allure propre et indépendante de la disposition des accidents de terrain. Dans les régions montagneuses, où il y a des vallées profondes et encaissées entre des flancs abruptes, on voit des sulcatures dirigées dans le sens des vallées; mais souvent sur les hauteurs qui bordent ces déchirures on voit des stries disposées obliquement ou transversalement, produites par des agents érosifs qui ont dû passer par dessus les vallées. Quelquefois on voit des stries descendre des plateaux environnants dans les vallées, suivant des lignes obliques, et venir couper les sulcatures creusées parallèlement au Thalveg, comme je l'ai remarqué sur le flanc droit de la vallée de la Driva, entre Kongsvold et Drivstuen. D'autres fois, au contraire, les stries sortent de la vallée et se reportent sur le plateau adjacent; c'est ce qui a lieu, par exemple, dans la vallée du Nid Elv (Norvège méridionale): sur la rive gauche du lac *Nisser*, on voit, comme l'a indiqué M. Keilhau sur une carte de ce pays, des stries quitter la vallée, dirigée ici du N. au S., et s'élever vers l'O.-N.-O., en faisant un angle d'environ 60° avec l'axe de la vallée, et se portant vers le plateau situé à l'E., qui est élevé de plus de 1000 pieds au-dessus du lac *Nisser*.

Je signalerai encore une circonstance qui me paraît importante: ce ne sont pas les vallées longues et profondes, se rattachant aux plus hautes cimes, qui ont produit les grands systèmes de sulcatures; ainsi les agents érosifs descendus le long de la vallée du Guldbrandsdal, une des grandes vallées norvégiennes, qui remonte jusqu'au pied du Sneehättan et reçoit un grand nombre d'affluents, ces agents, qui s'avançaient du N.-N.-O. vers le S.-S.-E., ont laissé des traces peu nombreuses sur les collines mamelonnées du lac *Miösen*. Les sulcatures qui sont le plus marquées entre le lac *Miösen* et Christiania dérivent du N.-N.-E., de régions où les cimes sont comparativement peu élevées; et les forces érosives, au lieu de suivre le cours d'une grande vallée, ont franchi beaucoup de plateaux et de vallons dans un sens oblique à celui de leur allongement.

Classement des directions des stries.

Pour classer les directions des sulcatures, j'ai divisé les espaces que j'ai explorés en zones, dont chacune présente une certaine homogénéité et la prédominance de stries disposées de la même

manière ; puis j'ai réuni par tableaux les directions observées dans chaque zone , d'après le même procédé qu'a employé M. Élie de Beaumont pour les directions des couches de gneiss dans les montagnes des Maures et de l'Estérel (1). Dans ces tableaux, les sulcatures appartenant à un même système se trouvent disposées par groupes, de façon que dans les zones où il y a plusieurs systèmes, chacun d'eux se manifeste par un groupe particulier qui en indique la direction normale. Il est à remarquer que les directions dépendant d'un même système sont réparties sur une étendue angulaire un peu grande, qui est rarement inférieure à 45° ; cela provient d'abord de ce que les agents érosifs ont éprouvé des variations dans leur marche à travers un pays qui n'est pas tout-à-fait plat, et puis à ce que les stries latérales observées sur les deux côtés des monticules ne présentent pas exactement la même direction que celles tracées suivant une ligne médiane, et il en résulte une cause d'erreur qu'il est impossible d'éviter complètement.

Ce mémoire n'étant qu'un résumé des principaux faits que j'ai observés, l'énumération de toutes les directions de stries serait beaucoup trop longue pour y trouver place, vu qu'elles sont fort nombreuses : elle fera partie du mémoire plus détaillé qui doit être imprimé dans les voyages en Scandinavie ; je ne présente donc que les tableaux définitifs. Les nombres de directions relatifs à chaque angle ont été doublés, afin d'éviter la fraction 1/2 ; toutes les directions sont rapportées aux méridiens astronomiques.

Système d'érosions s'étendant des environs de Calmar au lac d'Östersund.

Dans la région située au midi de Stockholm et de la partie orientale du lac Mälär, entre Maricfred, Nyköping, Linköping, sur le littoral et les îles de l'Archipel de Stockholm, toutes les stries que j'ai observées se rattachent à un même système dirigé en moyenne du N. 25° O. au S. 25° E., et sont pour la plupart comprises entre le N. 15° O. et le N. 40° O. (voir le tableau n° 1). Ce système d'érosions se montre seul le long du littoral, depuis Stockholm jusqu'aux environs de Calmar, et je l'ai suivi en remontant vers le N. depuis Stockholm jusqu'au-delà du 63° degré de latitude, jusqu'au-delà du bourg de Marby, sur la rive occidentale du lac d'Östersund, où je les ai vues dirigées de la même manière que sur le littoral de Stockholm.

(1) *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 465.

Le tableau n° 2 comprend toute l'étendue de terrain située depuis Sala jusqu'à la maison de poste de Kläppa sur le lac d'Östersund; j'ai fait ce trajet en passant par Falun, le lac Siljan, Furudal, Carlsberg, Karbôle, Berg, Skatgård et Kläppa. Toutes les directions que j'ai mesurées soit dans les plaines, soit sur les montagnes, sont comprises entre le N. et le N. 40° O. ; elles ne forment qu'un seul groupe, dont la direction moyenne N. 20° O. ne diffère que de 5° de celle relative à la contrée de Stockholm et Linköping. Dans cette zone, les agents sulcateurs ont traversé obliquement plusieurs vallées, celles du Ljusne-Elf, de l'Oreån et du Dal-Elf, des dépressions occupées par des lacs; ils ont franchi les rochers avoisinant le Siljan et le *Storsjön*, et qui s'élèvent jusqu'à 200 mètres au-dessus de ces lacs : sur le haut des montagnes de Carlsberg et de Gymås, ils ont buriné leur empreinte exactement dans le même sens qu'au bord des lacs, c'est-à-dire du N.-N.-O. au S.-S.-E.

Disposition des stries dans l'Uplande.

Dans l'Uplande (province d'Upsal), les stries sont dirigées d'une manière un peu différente : au lieu de venir de l'intérieur des terres, comme celles de Falun et du lac Siljan, la plupart dérivent du golfe de Botnie; il y en a encore quelques unes du N. N.-O. au S. S.-E., mais celles-ci sont croisées par des sulcatures beaucoup plus nombreuses qui viennent du N. et du N.-N.-E. Dans la partie de l'Uplande que j'ai explorée, entre Danemora, Upsal et Sala, la direction la plus répandue est du N. au S. : c'est celle indiquée dans le tableau n° 3; mais sur la côte de Gefle et d'Öregrund, la plupart des stries observées par M. Sefström courent entre le N. N.-E. et le N.-E. Les agents erratiques, qui ont tracé les stries de l'Uplande dirigées du N. et N. N.-E., se sont élevés du golfe de Botnie vers la terre ferme; car le côté choqué est tourné vers la mer. Leur empreinte est le plus fortement marquée sur les rochers de la côte de Gefle et d'Öregrund, parce qu'ils se sont trouvés exposés le plus directement à leur action; mais, à une certaine distance de là, vers le S.-O. leurs traces deviennent beaucoup moins marquées, et les stries du système N.-N.-O. redeviennent prédominantes. On peut expliquer cette circonstance en supposant que le système N.-N.-O. est le plus moderne, et qu'il a effacé l'autre; il est effectivement le plus marqué sur la zone qu'il a envahie.

Dans la contrée située au midi de la partie occidentale du lac Mälär, entre Strängnäs, Thorshalla et Malmköping, la plupart des stries sont dirigées du N. N.-O. au S. S.-E., et appartiennent évidemment au même système que celles du littoral compris entre Stockholm et Calmar, comme l'indique le tableau n° 4; mais il y a, en outre, quelques directions groupées autour de la ligne N.-S. qui se rattachent probablement au même système que celles de l'Uplande.

Deux systèmes d'érosions dans la contrée d'Åreskuttan.

Le tableau n° 5 est composé des directions de stries que j'ai observées depuis le lac d'Östersund, ou *Storsjön*, jusqu'au col de Skalstuga, sur la frontière de Norvège (route d'Östersund à Drontheim), sur les bords du lac Liten et du lac Kalln, sur les flancs et la crête de la montagne d'Åreskuttan; l'O. 33° N. est la direction normale du système sulcateur qui prédomine dans cette contrée, et qui en a buriné les rochers dans un sens à peu près parallèle à la direction des accidents de terrain, en s'avancant de l'E.-N.-O. vers l'E.-S.-E. On remarque dans ce tableau un autre petit groupe beaucoup moins abondant, dirigé du N. 15° E. au S. 15° O.; ces stries ont été creusées du N. vers le S., et coupent les précédentes sous des angles de 70 et 75°. J'ai vu plusieurs exemples de ces intersections, ainsi près du bourg d'Härsta et près d'Hjerpen; on voit sur un rocher, proche de ce village, des stries courant de l'O. 36° N. à l'E. 36° S., et d'autres du N. 22° E. au S. 22° O., faisant avec les premières un angle de 76°. Le caractère des côtés frappés et abrités indique que les forces érosives venaient de l'O.-N.-O. et du N.-N.-E.

Directions observées entre le lac Mjösen et Christiania.

Le tableau n° 6, résumant les directions observées sur la rive orientale du Mjösen, entre ce lac et Christiania, présente trois groupes; un premier, peu important (N. 22° O.), se compose de stries dérivant de la vallée du Guldbrandsdal; un autre (E. 35° N.) renferme quelques directions observées un peu au N. de Christiania et se rattache probablement à un système d'érosions que nous allons voir très développé sur la côte orientale du golfe de Christiania. Le troisième groupe (N. 13° E.), qui est ici le plus important de tous, paraît se rattacher au même ensemble de stries que le groupe (N. 15° E.) du tableau précédent.

*Deux systèmes d'érosions sur le côté oriental du Skager-rack
et du Cattégat.*

Les deux tableaux n° 7 et n° 8 embrassent les zones littorales situées sur le côté E. du Skager-rack, ou golfe de Christiania, et du Cattégat, depuis Christiania jusqu'à Kongelf, et depuis Kongelf jusqu'à Varberg (au midi de Göteborg). Chacun de ces tableaux indique les deux mêmes systèmes d'érosions, l'un dirigé du N. 15° E. au S. 15° O., l'autre du N.-E. au S.-O. ; mais dans la première zone prédomine le système N. 15° E., et dans la seconde le système N.-E., qui offre alors pour direction moyenne l'E. 35° N. Le système N. 15° E. coïncide avec celui que nous avons observé entre le lac Miösen et Christiania, et probablement aussi avec le système analogue du tableau n° 5.

Intersection des deux systèmes.

Entre Christiania et Varberg, on voit fréquemment se couper les stries appartenant aux deux groupes N. 15° E. et N. 45 ou 55° E. ; et quelquefois l'intersection a lieu sous des angles beaucoup plus considérables que l'angle 30 à 40° des directions normales : ainsi, que l'on examine la surface des collines basses et arrondies, entre lesquelles coule le Göta Elf, principalement celles de la rive droite, entre la maison de poste de Holm et Kongelf, on verra se succéder brusquement des sulcatures dont la direction est comprise entre le N.-S. et le N.-N.-E., et d'autres courant entre le N.-E. et l'E.-N.-E. ; entre Holm et Backa, je les ai vues, sur un même rocher, se croiser sous un angle de 65°.

Les régions qu'ont traversées les systèmes sulcateurs du N. 15° E. et du N.-E. sont arrosées par un grand nombre de cours d'eau parallèles entre eux, qui descendent du N.-N.-O. vers le S.-S.-E. : ainsi ils ne sont pas descendus le long des pentes que suivent aujourd'hui les rivières, et ils ont dû couper, sous des angles plus ou moins grands, les vallées où elles coulent ; ces vallées sont en général peu profondes, bordées de rochers mamelonnés et discontinus.

En combinant les observations que je viens d'exposer avec celles qu'a faites M. Sefström, il y a plusieurs années, on peut apprécier les caractères généraux du mouvement des appareils sulcateurs qui ont strié la partie méridionale de la Suède, et, pour faciliter cette appréciation, j'ai joint à cette notice une petite carte, sur laquelle j'ai tracé les stries observées par moi en Suède, en Norvège et en

Finlande, et j'y ai joint celles indiquées par M. Sefström dans la partie de la Suède que je n'ai pas visitée.

Il y a dans le midi de la Suède plusieurs directions normales ou plusieurs systèmes de stries.

Je suis conduit à modifier la conclusion que M. Sefström avait déduite de ses recherches sur les érosions dans le midi de la Suède ; ce savant observateur a considéré la direction normale des stries comme étant, pour la Suède, du N.-N.-E. au S.-S.-O., et, d'après son point de vue, toutes les stries courant du N.-N.-O. au S.-S.-E. sont des déviations produites par l'influence de certaines élévations du sol, et il les appelle stries latérales, relativement à ces élévations : ainsi, à Falun, elles sont latérales par rapport aux hauteurs de la Dalécarlie, et, à Westervick, relativement aux hauteurs situées au S. de Jonköping. Mais, comme j'ai suivi les sulcatures dirigées du N.-N.-O. au S.-S.-E., depuis le littoral jusque près de leur origine, jusque dans la région occidentale et montagneuse de la Suède, il n'est plus alors possible de considérer ces stries comme étant des déviations ou des stries latérales, et il devient évident qu'il n'y a pas lieu d'établir une seule ligne normale pour toute la surface du midi de la Suède ; mais il y a plusieurs directions que l'on peut considérer comme normales.

Systèmes d'érosions partis du Jemtland.

Ainsi, dans la Suède occidentale, nous avons reconnu, depuis le littoral des environs de Calmar, sous le 57° degré de latitude jusqu'à la rive occidentale du lac d'Östersund, au-delà du 63° degré, un système d'érosions tout-à-fait continu, tracé par des agents qui s'avançaient du N.-N.-O. vers le S.-S.-E., et dont la direction normale est du N. 22° 1/2 O. au S. 22° 1/2 E. Depuis le lac Miösen en Norvège jusqu'au-delà de Varberg (au midi de Göteborg), nous avons observé un système de stries dirigé du N. 15° E. au S. 15° O., qui paraît venir de la même contrée que le système du N.-N.-O., c'est-à-dire du Jemtland, car nous y avons aussi remarqué des stries dirigées au N. 15° E. (groupe du tableau n° 5). Partout où nous avons observé les stries N.-N.-O. et N.-N.-E., le côté choqué était exposé au N., leur point de départ est donc au-delà du 63° degré de latitude ; il paraît être sur les plateformes mamelonnées situées dans le Jemtland, entre le 63° et le 64° degré de latitude, à la séparation de la Suède et de la Norvège, dans la

région où se trouvent les lacs *Kalln*, *Torrön*, *Storbus*, *Hotagen* et *Langligen*. Ces plateformes et leurs massifs rocheux aplatis, d'une élévation peu considérable, et généralement inférieure à 1,200 mètres, paraissent avoir été l'origine d'actions érosives qui se sont étendues en rayonnant vers le midi de la Suède, comme le montrent les deux lignes normales N. $22^{\circ} \frac{1}{2}$ O. et N. 15° E. ; elles ont strié la côte orientale suivant la direction S.-S.-E., et la côte occidentale suivant la direction S.-S.-O., et sur le méridien central, celui de Philipstad et Jonköping, elles ont produit un assez grand nombre de stries voisines du N.-S., comme on le voit sur la carte. Il est inutile de faire observer que les lignes tracées sur ma carte, pour indiquer les directions moyennes des principaux systèmes d'érosions, représentent leur axe ou leur direction normale, et par suite, que les stries marquées à droite et à gauche ne doivent pas leur être exactement parallèles, car les systèmes de sulcatures affectent en général une disposition rayonnante, et chacun d'eux occupe un espace angulaire plus ou moins grand. Les trois systèmes indiqués sur ma carte comme descendant des plateformes du Jemtland, et comme ayant strié la partie méridionale de la Suède suivant les directions moyennes S.-S.-E., S. et S.-S.-O., peuvent être considérés comme ne formant que les trois branches d'un grand système, qui s'est étendu en rayonnant de manière à embrasser une étendue angulaire d'environ 50° , divisée en deux parties à peu près égales par la ligne N.-S.

Un système sulcateur s'est avancé de Gefle vers Göteborg, ou du golfe de Botnie vers le Cattegat.

Nous avons vu qu'il y a sur certaines parties du littoral E. de la Suède, sur la côte de Gefle et d'Öregrund un ensemble de stries dirigées du N.-N.-E. au S.-S.-O., et du N.-E. au S.-O., produites par des causes érosives, agissant du golfe de Botnie vers la terre ferme. Dans l'intérieur de la Suède, il y a aussi des stries disposées de la même manière, et sur la côte occidentale de ce pays, on en voit un grand nombre courir du N.-E. vers le S.-O. et de l'E.-N.-E. vers l'O.-S.-O., dans un sens oblique par rapport aux stries dirigées du N. 15° E. au S. 15° O. Cela montre donc qu'outre les systèmes d'érosions qui, à partir du 63° degré de latitude se sont étendus en rayonnant vers le midi de la Suède, il y a aussi des agents sulcateurs qui, partant du golfe de Botnie et s'avancant de Gefle vers Göteborg, ont érodé les rochers de la Suède entre le 61° et le 57° degré de latitude, suivant des directions comprises entre le

N.-N.-E. et l'E.-N.-E. Ce sont ces sulcatures dérivant du golfe de Botnie que M. Sefström a considérées comme véritablement normales ; mais on voit qu'elles forment un système à part qui croise les stries venues du Jemtland. D'ailleurs il est possible que les érosions observées entre Christiania et Göteborg, suivant la direction N.-E., ne viennent pas toutes du golfe de Botnie, et qu'une partie d'entre elles aient eu leur origine en des points situés à l'intérieur de la Suède, car il est difficile d'établir une séparation bien tranchée entre les stries venant du N. 15° E., et celles venant du N.-E. ; il y a un très grand nombre de directions dans l'intervalle qui sépare les lignes normales.

En s'avancant de Gefle vers Göteborg, les agents érosifs ont obliqué vers l'O.-S.-O.

Je ferai encore observer que sur la côte du Skager-Rack et du Cattegat, les stries ont une direction plus voisine de l'E.-N.-E. et du N.-E. que sur la côte de Gefle, de façon que les agents érosifs, en s'avancant du golfe de Botnie vers le littoral de Göteborg, n'ont pas suivi une ligne tout-à-fait droite, mais ils ont obliqué vers l'O.-S.-O. La cause probable de cette déviation a déjà été indiquée par M. Sefström, il l'attribue à l'exhaussement que présente le sol de la Suède au midi du lac Wetteren ; il y atteint une hauteur de 200 mètres, tandis que plus au N., le niveau moyen est seulement de 30 à 40 mètres au-dessus de la mer.

Forces érosives ayant agi dans un sens parallèle à la côte et en s'avancant de la mer vers la terre ferme.

Sur la côte de Cimbrishamn, dans la Scanie, il y a des stries montant de la mer vers la terre, de l'E.-N.-E. vers l'O.-S.-O., et MM. Murchison et de Verneuil ont remarqué des stries dirigées de la même manière à l'île Gotland ; elles sont le produit de forces érosives qui ont agi dans le même sens que si elles venaient de la partie occidentale du golfe de Finlande. Sur la côte située entre Carlskrona et Calmar, il y a des sulcatures dirigées du N.-N.-E. au S.-S.-O., à peu près parallèlement à la côte de Calmar et à l'île Oland ; on peut tirer de là une conclusion, qui est aussi confirmée par ce que j'ai observé sur la côte occidentale du golfe de Christiania, savoir que, outre les agents sulcateurs venus de l'intérieur des terres, et qui ont strié les rochers du littoral, en faisant un angle plus ou moins grand avec le rivage et descendant vers la

mer ; il y a eu aussi des forces érosives qui ont agi, les unes dans un sens parallèle à la côte, les autres en s'avancant de la mer vers la terre ferme.

Remarques sur le système d'érosions le plus développé dans la contrée d'Åreskuttan.

Le système sulcateur qui s'est avancé sous le 63° degré de latitude de la frontière de Norvège, vers le lac d'Östersund, de l'O.-N.-O. vers l'E.-S.-E., a érodé les flancs et la crête de la montagne d'Åreskuttan ; cette montagne constitue un massif détaché, situé à l'E. de la bande rocheuse qui sépare la Norvège de la Suède, à peu près comme le Rigi, relativement à la chaîne centrale des Alpes. Åreskuttan a la forme d'un dos d'âne, allongé à peu près parallèlement à la direction normale des sulcatures de cette contrée, de l'O. 35° N. à l'E. 35° S. Il n'a point été l'origine de forces érosives, mais il a reçu l'empreinte de celles qui venaient de l'O. Sur le flanc septentrional de la montagne, où cette empreinte est le mieux marquée, on voit deux systèmes de stries se coupant sous un angle moyen de 20° ; l'un d'eux se compose de stries horizontales tracées dans la direction de l'O. 35° N., parallèlement à l'axe de la montagne ; l'autre système s'est élevé d'abord obliquement vers le haut de la montagne, comme on le voit sur le versant méridional, puis il en a coupé la crête sous un angle de 15 à 20°, en se dirigeant vers l'E. 15 à 20° S. ; ensuite il s'est abaissé le long du flanc septentrional avec une pente, à l'horizon, de 30 à 35°. Jusque sur la cime la plus haute d'Åreskuttan, à une élévation de 1,045 mètres au-dessus du lac Kalln, qui en baigne le pied, et de 1,484 mètres au-dessus de la mer, on voit des stries dirigées de l'O. 20° N. à l'E. 20° S., et j'y ai remarqué aussi des blocs de granite à gros grains, dont l'un est un peu anguleux, et a environ 2 mètres cubes de volume ; ces blocs sont évidemment erratiques, car Åreskuttan est formé de micaschiste passant au gneiss ; il y en a d'autres sur les flancs et la crête, accompagnés de cailloux granitiques.

On voit le même système d'érosions se prolonger jusqu'à la frontière de Norvège en suivant la même direction et venant toujours de l'Ouest ; même sur la bande de plateformes mamelonnées, tuberculeuses, qui séparent la Suède de la Norvège, on voit de très belles surfaces polies, des stries et des sillons dirigés à peu près de la même manière qu'à Åreskuttan, entre l'O. 25° et l'O.

40° N. Sur la portion de cette zone montagneuse, d'où sont parties les actions érosives qui ont strié Åreskuttan, toutes les cimes sont beaucoup moins élevées que le sommet de cette montagne sur lequel nous avons vu qu'il y a des stries bien marquées; la plus haute cime indiquée sur la carte de Forsell (la meilleure carte de Suède et Norvège) est celle de Kelahögen, à laquelle on assigne seulement 4,300 pieds suédois (1) de hauteur, tandis qu'on attribue 4,844 pieds à Åreskuttan; mes observations barométriques donnent 1,484 mètres pour l'élévation d'Åreskuttan.

Les agents érosifs qui ont strié Åreskuttan sont partis de points notablement moins élevés.

Il ne se trouve, dans cette région, d'exhaussement qui surpasse ou atteigne Åreskuttan qu'à une grande distance au Nord ou au Midi, de façon que si les forces érosives étaient parties de ces exhaussements, les stries seraient alors dirigées du N. au S. ou du S.-O. au N.-E., tandis qu'elles courent de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E. Les agents sulcateurs qui sont venus de l'ouest éroder la crête et la cime principale d'Åreskuttan sont donc partis de points beaucoup moins élevés, et ils ont d'abord traversé des plateaux dont le niveau moyen est seulement de 5 à 600 mètres, pour s'élever ensuite jusqu'à 1,484. Ces faits nous montrent combien on aurait tort de vouloir établir une assimilation complète entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie et ceux des Alpes et des Pyrénées; les agents érosifs ont eu ici un mouvement ascensionnel au lieu de descendre suivant l'inclinaison du terrain. L'hypothèse d'une fusion de neiges ou de glace ne peut donc pas rendre raison du phénomène scandinave, et, quant à la théorie des glacialistes, je ne vois pas comment des glaciers auraient pu se mouvoir en sens contraire de la pesanteur, et remonter en des points beaucoup plus élevés que ceux dont ils seraient partis.

CARACTÈRES DES ÉROSIONS EN NORVÈGE.

Dans le massif occidental des montagnes de la Norvège, situé à l'O. du méridien de Drontheim, dans lequel se trouvent les sommités les plus élevées du N. de notre continent, les sulcatures

(1) Hisinger assigne à Kelahögen une hauteur de 3,932 pieds parisiens.

présentent une disposition divergente, analogue à celle qui a lieu dans les Alpes; mais ce massif rocheux, malgré son étendue et sa grande élévation, n'a pas été le point de départ des actions érosives qui se sont étendues sur la Suède; car dans la partie S.-O. de cette contrée, toutes les stries courent du N.-N.-E. au S.-S.-O. ou du N.-E. au S.-O.

Le phénomène erratique est beaucoup moins développé dans la région des hautes montagnes que dans la partie basse de la Scandinavie.

J'ai exploré dans plusieurs sens les zones montagneuses les plus élevées, le Dovre, le Langfield, le Sognefield, l'Iotungfield et le Fillefield; j'ai été étonné de voir que le phénomène erratique y est beaucoup moins développé que dans la partie basse de la Scandinavie, située plus à l'E.; cependant les caractères d'accidentation sont beaucoup plus tranchés; l'on y voit d'immenses déchirures, et quelques sommités culminantes s'élèvent, du niveau de la mer, jusqu'à une altitude de près de 2,500 mètres; on y trouve des vallées profondes, de 30 à 40 lieues de longueur, encaissées entre des parois abruptes qui s'élèvent souvent à un millier de mètres. Je m'attendais à voir dans ces vallées le magnifique spectacle de sulcatures que j'avais admiré en 1840 dans plusieurs vallées des Alpes, ainsi que dans celles de la *Reuss*, de l'*Aar*, etc.; mais presque partout les flancs de ces vallées sont décharnés et raboteux, et l'on n'y voit pas de surfaces polies, ni striées; c'est seulement dans le fond des vallées ou vers le pied de leurs flancs que l'on voit en divers endroits des rochers arrondis et présentant des stries. Néanmoins dans les parties de la Norvège, formées de collines arrondies et mamelonnées, qui vont en s'abaissant vers la mer, ainsi entre Drontheim et Levanger, aux environs de Christiania, entre cette ville et Christiansand, le phénomène des érosions se montre aussi développé qu'en Suède; c'est seulement dans les vallées profondes, formant des déchirures entre les hauts plateaux et à la surface de ces plateaux que les érosions sont peu développées.

Ce fait incontestable peut être attribué à différentes causes, d'abord à ce que les flancs de ces montagnes étant fortement inclinés, ont plus de tendance à s'ébouler, et les roches, étant habituellement schisteuses, sont plus sujettes à se désagréger que le granite sous les influences atmosphériques. Il est possible aussi que le phénomène des érosions ait été moins prononcé dès l'origine, soit parce que la disposition abrupte des flancs des rochers

était moins favorable au développement des actions érosives, soit parce que le transport des matériaux meubles qui ont servi de burin s'est fait sur une échelle moindre, et que la vitesse des masses en mouvement était moins considérable.

Les détritiques déposés au fond des profondes déchirures et à la surface des plateaux très élevés, ne forment pas en général des amas aussi considérables que sur les régions à collines de la Suède et de la Norvège, et les blocs erratiques y sont aussi moins abondants. Néanmoins lorsque les vallées situées dans cette région montagneuse ont une grande largeur, lorsque leurs flancs sont moins élevés et moins inclinés, lorsqu'en un mot elles se rapprochent des dépressions ou des vallées plates qui séparent les collines ou les petites montagnes de la Suède, alors les dépôts de transport forment des entassements plus considérables, et prennent les caractères des âsars suédois; c'est ce que montre la comparaison des vallées larges et à flancs moyennement inclinés de Lessöe, du Guldbrandsdal, du Beina Elf, de la Glommen, etc., avec les vallées profondes du Justedal, du Lerdal, de la Driva, etc.

Érosions sur les hauts plateaux.

Sur les plateaux dont le niveau moyen dépasse 1400 mètres, il est rare de voir des stries; mais on en trouve fréquemment à une altitude intermédiaire entre la limite des bouleaux et celle des neiges perpétuelles, c'est-à-dire entre 1000 mètres et 1500 mètres sous les parallèles de 60 à 64°. Elles sont ordinairement un peu irrégulières, et ne paraissent pas toujours dériver des plus hautes sommités: ainsi, sur le Dovre, à la montée qui est entre Jerkind et le point le plus élevé de la route de Drontheim, au S.-E. du Sneehättan, à une altitude d'environ 1,200 mètres, j'ai remarqué deux systèmes d'érosions qui se coupent, dirigés l'un du S. 12° O. au N. 12° E., l'autre du S. 45° à 50° O. au N. 45° à 50° E.; ces deux systèmes ont rasé le côté oriental du massif du Sneehättan, et au lieu de descendre, ils montent du S. et du S.-O. vers le N. et le N.-E. Comme l'a déjà remarqué M. Siljeström, c'est seulement dans la vallée du Guldbrandsdal que les sulcatures s'abaissent vers le Midi pour descendre le long de cette vallée. J'ai encore observé des stries sur le côté opposé du Sneehättan, à l'O. de *Skreahög*, à une altitude de 1,279 mètres; c'est ici sur des roches polies de serpentine; elles courent au N. 35° E., et ne dérivent pas non plus du Sneehättan.

J'en ai vu aussi sur le plateau du Langfield, qui s'étend entre

la vallée du Romsdalen et celle de l'Otte-Elv, mais dans une partie basse de ce plateau, à une altitude de 1,340 mètres sur la rive orientale du lac Bredals; elles sont dirigées du N. 21° O. au S. 21° E., à peu près dans le sens de la dépression où se trouve le lac.

J'ai encore observé des érosions à des hauteurs comprises entre 1,000 et 1,400 mètres, sur les plateformes environnant les Skagstölstind, sur le Sognefield, le Fillefield, et sur les plateaux dits *Högbergslätt*, situés à l'E. du Gravefield; elles se trouvent, en général, dans des dépressions que présente la surface de ces plateaux, et sont dirigées dans le sens de leur allongement. Quelquefois ces stries, que l'on voit à une grande élévation, se trouvent dans le voisinage des glaciers, et, dans certains cas, il est possible qu'elles aient été tracées par des glaciers qui auraient été autrefois plus étendus qu'ils ne le sont maintenant.

Disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes.

Les stries que j'ai remarquées le long des vallées profondes sont presque toujours dirigées parallèlement à leurs flancs, et présentent les mêmes sinuosités; c'est ce que l'on reconnaît très bien dans la vallée du Justedal, où les stries offrent des directions très diverses au N.-S., au N.-E. et au N.-O., et ces variations sont toujours en rapport avec la disposition du Thalweg et des flancs de la vallée. J'ai fait les mêmes remarques dans les vallées du Romsdals, du Lerdal, du *Beina-Elo*, du Guldbrandsdal, etc.; quelquefois, cependant, les stries présentent une certaine complication. Ainsi dans la vallée de la Driva, entre Kongsvold et Drivstuen, on voit se croiser en certains endroits sur le flanc droit deux systèmes de stries, l'un dirigé du S. au N., à peu près parallèlement au Thalweg, l'autre du S.-E. au N.-E., et descendant obliquement du plateau situé à l'E.; un peu plus loin, vers Drivstaen, on voit des stries qui semblent remonter vers le plateau. En général, le caractère des côtés rugueux et des côtés polis montre que les frictions ont été exercées dans le sens où coulent les eaux, en descendant, si ce n'est à la naissance des vallées, sur le bord des plateaux, où les sulcatures montent quelquefois au lieu de descendre, comme nous l'avons vu près de Jerkind, sur le côté oriental du Sneehättan; alors la ligne de séparation des sulcatures qui vont dans des sens opposés, les unes vers le N., les autres vers le S., ne coïncide pas tout-à-fait avec la ligne de partage des eaux.

En parcourant les diverses branches du Sognefiord, de cette

immense crevasse le long de laquelle la mer pénètre jusqu'au pied des sommités les plus élevées du Nord de l'Europe, j'y ai remarqué en beaucoup d'endroits des stries au niveau de la mer, au-dessous de ce niveau, et à quelques cents mètres au-dessus. Mais c'est presque toujours là où le pied des flancs plonge dans la mer qu'elles sont le plus visibles; leur partie supérieure est décharnée et rugueuse. Les agents erratiques ont parcouru sur une étendue de plus de cinquante lieues cette longue crevasse, dont la mer nous cache la profondeur, et ils y ont creusé des stries parallèles à la direction de ses différentes parties.

Les observations que j'ai faites le long des vallées profondes de la Norvège sont d'accord avec celles de M. Siljeström; mais elles ne conduisent pas à la conclusion générale qu'a énoncée cet observateur en disant que la direction des stries se rattache à celle de la ligne de faite, et fait avec elle un angle qui s'approche plus ou moins d'un angle droit. Car il n'y a point dans ces montagnes de ligne de faite bien prononcée; les lignes de partage des eaux y sont fort irrégulières, et les sulcatures sont loin de leur être constamment perpendiculaires, comme on peut en juger d'après la carte ci-jointe. Mais il est vrai de dire que les forces érosives ont exercé leur action en descendant le long des vallées qui prennent naissance dans la partie centrale de ces montagnes, et en suivant la direction du Thalweg. On conçoit qu'il n'y a pas lieu de composer un tableau pour représenter les directions des stries observées dans ces vallées, car elles varient beaucoup en des points très rapprochés; mais il n'en est pas ainsi pour les parties de la Norvège moins fortement accidentées, qui ont, comme en Suède, la forme de plateaux ondulés, ou qui offrent une agglomération de collines arrondies: j'ai donc pu former des tableaux de directions pour ces parties-là, et même pour des régions montagneuses dont la structure est analogue à celle du Jemtland, qui offrent une succession d'exhaussements et de dépressions à pentes moyennes.

Directions observées entre Christiania et Arendal.

Le tableau des directions observées entre Christiania et Arendal le long du littoral, sur les îles avoisinantes, aux environs de Kongsberg et Modum, offre plusieurs groupes de directions; il y a un petit groupe autour de la ligne N. 10° E., composé de directions de stries observées entre Christiania et Frédérikstern, qui ont été tracées à peu près parallèlement à cette partie du golfe de Christiania par des agents qui s'avançaient du N. 10° E. au S. 40° O.,

dans le même sens que ceux qui ont envahi les environs de Christia-nia et le côté oriental du Skagerrack. On voit un autre groupe peu considérable autour de la ligne E. 28° N., formé de directions mesurées principalement autour de l'île *Langøe*, et aux environs de *Kragerøe*; ce sont des stries à peu près parallèles aux côtes des îles *Langøe* et *Koume*, et à cette partie du littoral qui s'étend de *Laurvig* à *Tvedestrand*.

Il y a encore trois autres groupes appartenant à des systèmes d'érosions qui sont descendus des montagnes vers le littoral; l'un est dirigé au N. 20° O., l'autre au N. 40° O., et le troisième à l'O. 10° N. Quelquefois sur les mêmes rochers on voit se croiser deux de ces systèmes, l'un venant du N.-N.-O., l'autre du N.-O. ou de l'O.-N.-O. C'est le système dirigé au N. 40° O. qui est le plus développé, comme le montre le tableau n° 9 : cependant les vallées qui débouchent dans la mer aux environs d'Arendal, telles que le *Nid-Elv*, présentent près de la mer des directions plus voisines du N.-S. que du N.-O.; mais, à une distance de 12 à 15 lieues au N.-O. d'Arendal, il y a un assez grand nombre de vallées secondaires dirigées au N.-O. et au N. N.-O., telles que le *Birtdal*, le *Topdal*, le *Skjæggedut*, et c'est de ces vallées que paraissent être venus les agents qui ont érodé les rochers du littoral de *Tvedestrand* et d'Arendal. En approchant de la côte, ils ont cessé de suivre la pente des vallées où coulent les eaux, et ils ont traversé directement les collines mamelonnées qui bordent le rivage, en conservant à peu près la même direction du N.-O. au S.-E., suivant laquelle s'effectuait leur mouvement en amont.

Intersections de stries sous des angles de 72° et de 90°.

Les érosions dérivant de l'intérieur des terres sont presque transversales aux stries dirigées de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O. J'ai observé plusieurs exemples de croisements sous de très grands angles; j'en citerai deux seulement : là où la route d'*Holmestrand* à *Laurvig* atteint le plateau, en quittant la gorge qu'elle traverse à la sortie de la ville, on voit des stries venant de l'intérieur, dirigées en moyenne au N. 40° O., couper sous un angle de 72, d'autres stries qui courent de l'E. 22° N. à l'O. 22° S. Le long du canal qui sépare l'île *Langøe* de *Koume*, située plus à l'E., on voit en beaucoup d'endroits des sulcatures dirigées à l'E. 30° N.; on en voit d'autres, qui leur sont exactement perpendiculaires, descendre du N. 30° O. au S. 30° E., de dessus les rochers qui bordent le rivage, et près desquels on exploite des mines de fer.

Les canaux sinueux et profonds, décrits précédemment, appartiennent à différents systèmes d'érosions.

J'ajouterai que les canaux et sillons profonds, sinueux et bifurqués, que nous avons décrits dans un précédent mémoire (1), n'appartiennent pas exclusivement à un système particulier d'érosions; et c'est à cause de cela que dans les divers exemples mentionnés dans ce mémoire les directions des sulcatures ne sont pas partout les mêmes; les unes ont été produites par des forces érosives agissant parallèlement au littoral, d'autres par des forces obliques ou transversales venant de la région montagneuse. Ainsi les canaux et les stries de l'île Sandöe et des rivages de Sandesund sont dirigés du N. quelques degrés E. au S. quelques degrés O., à peu près parallèlement au Sandesund et aux découpures de cette partie de la côte. Les sulcatures de l'île *Saasteinholm*, dirigées du N.-O. au S.-E., ont été creusées par des forces érosives venant du N.-O. de l'intérieur des terres; par conséquent les sulcatures en forme d'ornières ondulées et bifurquées ne peuvent être considérées comme le résultat du ressac de la mer, ainsi qu'on l'a supposé dans les objections qu'a suscitées le mémoire déjà cité. D'ailleurs les objections qu'ont émises les divers partisans de l'école glacialiste sont essentiellement contradictoires, et montrent combien il est difficile de mettre en harmonie avec la théorie glaciaire les érosions que j'ai signalées. En effet, M. Agassiz attribue les canaux sinueux et bifurqués à l'action des filets d'eau qui coulent des glaciers par l'effet de la fusion; M. Martins les regarde comme produits par le ressac de la mer: mais l'un et l'autre supposent que c'est par des glaciers qu'ont été creusées les stries que l'on y voit à l'intérieur. M. Escher de la Linth considère l'ensemble des stries, des sillons et canaux profonds comme ayant été creusés par des glaciers, et M. Schimper, au contraire, qui fait aussi partie de l'école glacialiste, prétend que les sillons, canaux et stries que l'on observe sur le littoral et les îles de la Suède et de la Norvège sont dues tout simplement à l'action de la mer, et qu'ils diffèrent par leurs sinuosités des stries rectilignes que l'on voit à l'intérieur de ces contrées. J'ajouterai que M. Scheerer, qui habite Christiania et qui a visité à plusieurs reprises les localités en question, considère sous le même point de vue que moi les érosions dont est cou-

(1) *Bulletin de la Société géologique*, séance du 1^{er} décembre 1845.

verte la surface des rochers. (Voir *Ann. de Poggendorf*, 3^e série, t. VI. *Beitræge zur Kenntniss des saßströmschen friction phenomen.*)

Stries observées aux environs de Værdalsören et Levanger.

Le tableau n° 10 résume les directions de stries que j'ai observées en descendant du col de Skalstuga vers la mer, le long de la vallée du *Suul-Elv*, aux environs de Værdalsören et Levanger; elles appartiennent à un même système dirigé en moyenne à l'O. 30° N. Cette direction se rapproche de celle de la vallée de *Suul* (O. 18° N.); mais elle ne coïncide pas tout-à-fait avec elle, et d'ailleurs cette disposition générale des stries reste la même en dehors de la vallée de *Suul*, sur les collines des environs de Værdalsören et Levanger.

Systèmes d'érosions observés entre Levanger et Drontheim.

J'ai réuni dans le tableau n° 11 les observations que j'ai faites entre Levanger et Drontheim le long du littoral; les directions y sont réparties suivant des angles très différents. On remarque un premier groupe dirigé au N. 30° O., formé principalement par les directions mesurées entre le bourg de Stordalen et Drontheim; ce groupe se rattache au système sulcateur de la contrée de Røraas, que nous allons faire connaître tout-à-l'heure, et qui s'est avancé du S.-E. vers le N.-O. Un deuxième groupe dirigé à l'O. 27° 1/2 N. paraît dépendre du système d'érosions (O. 32° N.) que nous avons décrit tout-à-l'heure comme étant très développé dans la contrée de Værdalsören et Levanger; car il offre presque exactement la même direction. Un troisième groupe se voit à l'E.-N.-E., et provient de directions observées principalement entre Hammer, Vordal et Forbord, le long de vallées étroites dirigées à l'E.-N.-E. et au N.-E.; mais sur les rochers entourant ces vallées, on voit des érosions dirigées différemment, et qui conservent une allure indépendante de la configuration du terrain. Il y a donc plusieurs systèmes de sulcatures que l'on voit fréquemment se croiser sur les mêmes surfaces; ainsi j'ai remarqué sur les mêmes rochers, entre Haave et Hammer, des stries dirigées à l'O. 20° N., et d'autres au N. 45° E., se coupant sous un angle de 65°. Entre le bourg de Stordalen et la maison de poste de Hougan, j'ai vu un autre exemple d'intersection, sous un angle de 71°; des stries couraient à l'O. 10° N., et d'autres au N. 9° O.

Système d'érosions de la contrée de Røraas.

Dans le cours des explorations que j'ai faites près de Drontheim, entre cette ville et Røraas, dans la contrée de Røraas, sur les plateaux ondulés où se trouvent les lacs Fœmund, Ferager, Malmagen et Öresund, puis entre Røraas et Jerkind, dans la vallée de la Glommen et celle de Foldal, toutes les stries que j'ai observées paraissent se rapporter à un même système dirigé moyennement à l'O. 40° N. (voir le tableau n° 12), et qui s'est avancé du S.-E. vers le N.-E. Ce système s'est développé sur une zone rectangulaire très étendue, limitée au N. par le 63° degré 1/2 de latitude (c'est à peu près le parallèle de Drontheim), au Midi par le 62° degré, sur lequel se trouvent les cimes des *Rundene* et le *Solen Field*; à l'E. par la ligne de sommités qui sépare la Suède de la Norvège, et sur laquelle surgit la haute cime du Syltfiellet (environ 1,880 mètres), à l'O. par le massif du Sneehättan et la partie orientale du Dovre, que traverse la route de Christiania à Drontheim. Les stries que l'on voit sur cette zone ne divergent aucunement des sommités culminantes qui en bordent le contour; au contraire, elles tendent à affecter un parallélisme général et sont disposées diagonalement du S.-E. au N.-E. Elles dérivent d'une région qui est comparativement plus basse que les hauteurs formant les autres parties du périmètre de cette dépression; elle est située entre le Syltfiellet et les Rundene, et consiste dans un ensemble de plates-formes bordant les lacs Fœmund, Ferager et Öresund, sur lesquelles s'élèvent plusieurs cimes dont la hauteur est en général inférieure à 1,400 mètres, sauf deux ou trois sommités.

En outre, les traits principaux de la structure de cette région, tels que les dépressions du Fœmund, du Ferager, Istern, etc., beaucoup de sommités sont alignées du N. au S.; d'autres accidents du sol sont disposés du N.-E. au S.-E.; mais on n'en voit, pour ainsi dire, aucun dirigé du N.-O. au S.-E.; cependant les stries suivent une direction généralement constante du S.-E. au N.-O., et coupent obliquement les principales dépressions, même sur le bord des vallées un peu profondes; ainsi dans celle de Foldal, on voit en plusieurs endroits, vers le haut du flanc septentrional qui formait le côté choqué, des stries disposées transversalement à la vallée, allant du S.-E. ou du S.-S.-E. vers le N.-O. ou le N.-N.-O.

Les stries observées en Scandinavie tendent généralement à se rapprocher de la direction N.-O. S.-E.

On ne voit pas quelles causes ont déterminé les agents sulcateurs de la contrée de Røraas et de Drontheim à se mouvoir sur une grande étendue de pays du S.-E. au N.-O. dans un sens oblique relativement aux dépressions et aux exhaussements du sol. D'ailleurs, c'est un fait assez curieux que dans la plupart des zones observées jusqu'à présent en Scandinavie les sulcatures qui ont une allure propre et à peu près constante, tendent à se rapprocher de la direction N.-O. S.-E. plutôt que de la direction N.-E. S.-O.; c'est une tendance générale, mais qui n'est pas absolue. Ainsi les érosions les plus développées dans la partie orientale de la Suède sont dirigées du N.-N.-O. au S.-S.-E.; mais dans la partie S.-O. elles courent du N.-N.-E., du N.-E., et de l'E.-N.-E. au S.-S.-O. au S.-O. et à l'O.-S.-O.; entre la frontière de Norvège et le lac d'Östersund, elles courent de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E. En Finlande les directions des stries sont presque exclusivement comprises entre le N.-N.-O. et le N.-O.; sur la côte S.-E. de la Norvège, elles sont pour la plupart du N.-O. au S.-E. Les directions des stries que j'ai mesurées en 1839, lors de mon premier voyage dans ces contrées, depuis le golfe d'Alten jusqu'au milieu du haut plateau de la Laponie sont aussi groupées autour de la ligne N.-N.-O. Les sulcatures que M. Keilhau et M. Siljeström ont observées en divers points sur la côte occidentale de la Norvège, entre Drontheim et Hammerfest, descendent des montagnes vers la mer, en affectant de préférence la direction N.-O. ou O.-N.-O.

Il semble donc qu'une cause particulière ait déterminé la plupart des agents, qui ont érodé les rochers de la Scandinavie, à se mouvoir suivant la direction moyenne N.-O. S.-E. plutôt que suivant d'autres directions. On peut en chercher l'explication dans ce fait que la chaîne norvégienne est dirigée en moyenne du N.-N.-E. au S.-S.-O., et par suite on est conduit à considérer le mouvement des appareils érosifs comme s'étant effectué perpendiculairement à l'axe de la chaîne ou à la ligne de faite; mais cette explication n'est pas entièrement satisfaisante, car les montagnes de cette contrée forment des masses aplaties, détachées les unes des autres, ne présentant point d'axe ni de véritable ligne de faite; il y a eu, en général, un mouvement descensionnel, mais bien souvent il ne s'est effectué ni suivant la ligne de plus grande

penne, ni suivant la direction des vallées ; tantôt il s'est fait dans un sens presque perpendiculaire à la ligne de partage des eaux, tantôt dans un sens oblique, etc. D'ailleurs, nous avons fait voir qu'il y a quelquefois sur les régions littorales, outre les stries dérivant de l'intérieur des terres, des érosions tracées par des causes qui agissaient parallèlement à la côte, ou en s'élevant de la mer vers la terre ferme. On voit donc que le phénomène des érosions dans le nord de l'Europe est beaucoup moins simple qu'il ne le paraît au premier abord ; et quand on cherche à l'approfondir, on y reconnaît un degré de complication que les théories proposées jusqu'à ce jour ne paraissent pas susceptibles d'expliquer complètement.

Système d'érosions observé en Finlande.

Le tableau n° 13 résume les directions des stries que j'ai observées en 1839 dans la Finlande (1), en allant d'Uleåberg à Helsingfors par *Gamle Carleby*, le lac de Lappayärvi, Tammerfors et Tavastékus, entre Helsingfors et Åbo, puis en allant d'Helsingfors à Soardawala, et enfin sur les rives N.-N.-E. et N.-O. du lac Ladoga. On voit que les directions sont concentrées d'une manière presque exclusive autour de la ligne N. 35° O., à l'exception de quelques stries observées entre Brahestad et Gamle Carleby, qui s'approchent de l'O.-N.-O.

Sur la côte occidentale de la Finlande, les stries s'élèvent du golfe de Bothnie vers la terre ferme ; mais, jusqu'à présent, on ne sait pas avec certitude si les actions érosives ont pris naissance dans le golfe, ou si, comme il est plus probable, elles dérivent de la zone de plateaux montagneux qui séparent la Suède de la Norvège. Si on conçoit les stries prolongés vers le N.-O., suivant la même direction N. 35° O., elles atteignent la frontière de Norvège, entre le 64° et le 69° degré de latitude ; or, dans la partie de la Suède située à l'E., les fleuves qui aboutissent au golfe de Bothnie, entre Hernösand et Tornéâ, sont dirigés en général du N. 35° O. au S. 35° E. ; il est donc vraisemblable que les stries de cette région sont disposées de la même manière, et quelques observations qui ont été faites sur la côte occidentale du golfe de Bothnie viennent à l'appui de cette supposition.

(1) *Voyages en Scandinavie, etc. — Géologie.* Par J. Durocher. 1^{re} partie.

*Tableaux résumant les directions observées en Suède, Norvège
et Finlande.*

[illegible]

Tableau n° 1. Directions mesurées dans la région littorale au midi de Stockholm, et sur les îles avoisinantes, entre Stockholm, Nyköping et Linköping

Tableau n° 2. Directions mesurées entre Sala, Falun, le lac Siljan, Loos, Berg et Kläppa, sur le lac d'Östersund.

Tableau n° 3. Directions mesurées entre Stockholm, Upsal, Danemora et Sala.

Tableau n° 4. Directions mesurées entre Strengnäs, Thorshälla, Elkistuna, Malmköping.

Tableau n° 5. Directions mesurées dans la contrée d'Åreskultun, entre le lac d'Östersund et la frontière de Norvège.

Tableau n° 6. Directions mesurées sur les bords du Miösen, entre ce lac et Christiania.

Tableau n° 7. Directions mesurées entre Christiania et Kongelf, le long du littoral.

Tableau n° 8. Directions mesurées entre Kongelf et Varberg, le long de la côte orientale du Cattegat.

Tableau n° 9. Directions mesurées entre Christiania et Arendal, le long de la région littorale, sur les îles avoisinantes et aux environs de Kongsberg et Modum.

Tableau n° 10. Directions mesurées entre la frontière de Norvège, Værdalsören et Levanger (Fiord de Drontheim).

Tableau n° 11. Directions mesurées dans la zone littorale entre Levanger et Drontheim.

Tableau n° 12. Directions mesurées entre Drontheim, Røraas et Jerkind, dans la région des lacs Ferager, Fæmund et Öresund.

Tableau n° 13. Directions mesurées en Finlande, entre Brahestad, Gamle Carleby, Lappajärvi, Tammerfors, Tavastehus, Helsingfors, Åbo, Lovisa, Willmanstrand et sur les bords du lac Ladoga.

Nota. Toutes ces directions sont rapportées aux méridiens astronomiques.

CARACTÈRES DU DÉPÔT DE TRANSPORT DANS LE NORD DE L'EUROPE.

Le dépôt de transport du nord de l'Europe constitue une formation géologique non moins remarquable par ses caractères que les formations plus anciennes; son épaisseur, qui est très variable, paraît atteindre une centaine de mètres dans certaines parties du nord de l'Allemagne, de la Russie et du Danemarck; mais son développement principal est en surface; il s'étend en rayonnant autour du massif cristallin des contrées scandinaves jusqu'aux îles Britanniques, d'une part; de l'autre, jusque vers le 50° degré de longitude orientale, et du côté du midi jusqu'au pied des Carpathes, des Riesen et des Erzgebirge. Un des caractères particuliers à ce terrain consiste en ce qu'il n'a pas été déposé seulement dans des contrées basses, dans des bassins, mais il se montre avec des caractères analogues au niveau même de la mer et à une élévation de plus de 1,000 mètres au-dessus, au sein même des régions montagneuses de la Scandinavie, sur les flancs des rochers, de même que dans les plaines. Cette circonstance, jointe à l'absence d'une stratification régulière, à la forme accidentée de la surface du dépôt et à la présence habituelle de gros fragments roulés, montre que les conditions générales de calme et de repos dans lesquelles s'est effectuée la sédimentation pendant les époques antérieures, ont été remplacées, pendant la période anté-humaine, par des conditions particulières d'agitation et de mobilité.

Passage entre le terrain diluvien et la formation tertiaire.

Néanmoins, dans la partie méridionale de la zone où s'est déposé le terrain de transport, au S. de la Baltique, c'est-à-dire à une

assez grande distance des rochers d'où a été détachée la plus grande partie des matériaux qui ont formé les éléments de la sédimentation, il y a, sous le rapport pétrographique, un passage entre le terrain diluvien et la formation tertiaire sous-jacente; celle-ci se compose, en effet, de couches argileuses et arénacées, à l'intérieur desquelles il y a des blocs de granite provenant probablement des rochers de la Scandinavie; mais elle est caractérisée par la présence de bancs de lignite et de coquilles tertiaires, appartenant à la période subapennine ou miocène, tandis que les coquilles contenues dans le terrain diluvien sont semblables à celles qui vivent aujourd'hui dans la Baltique. Toutefois, il est évident que le transport de matériaux très volumineux a pu s'effectuer dans des mers tenant en suspension des détritiques aussi ténus que les argiles, et dans lesquels vivaient des animaux marins: c'est pendant la période diluvienne que ce transport a eu lieu sur la plus grande échelle; mais il s'est fait aussi pendant la période tertiaire, et maintenant encore il a lieu dans des conditions analogues, c'est-à-dire à l'aide de glaces flottantes, sur les rives de la Baltique, sur les bords des fleuves et des lacs du N. de l'Europe.

En divers points de l'Europe, les dépôts tertiaires moyens attestent le développement d'actions diluviennes.

Il est à remarquer qu'au midi des Alpes, le terrain tertiaire miocène que l'on voit affleurer sur la colline de Superga, près Turin, contient des blocs très volumineux provenant des Alpes, de même que le terrain du Danemarck formé à la même époque renferme des blocs scandinaves. J'ai aussi observé que les terrains tertiaires miocènes dans l'O. de la France sont des terrains de transport, argileux et arénacés, renfermant de gros fragments arrachés aux roches paléozoïques, et l'on voit même souvent à leur surface de véritables blocs erratiques dont le volume est supérieur à 1 mètre cube: ces dépôts attestent l'existence de grands courants qui ont couvert d'immenses étendues de terrain, et qui ont érodé les plateaux élevés de même que les plaines basses: ainsi, à la même époque, pendant la période tertiaire moyenne, le sol de différentes parties de l'Europe a été soumis à des actions diluviennes. Il paraîtrait, d'après les observations de M. Forchhammer, que l'agitation des eaux qui a déterminé le transport des détritiques de roches scandinaves vers le midi, aurait même commencé dès la fin de la période crétacée; car on trouve dans le Danemarck ces

détritus associés à des débris de coraux dans des couches situées à la partie supérieure de la série crétacée.

Grandes accumulations de détritits granitiques.

Le terrain de transport formé pendant la période diluvienne renferme, dans le Danemarck et dans le N. de l'Allemagne, une zone argileuse assez épaisse, située au-dessous des couches arénacées qui constituent la partie supérieure du dépôt; mais, au N. de la Baltique, il s'y trouve fort peu d'argile, et la masse principale est formée de détritits siliceux, ou plutôt granitiques. Des matériaux de diverses grosseurs provenant des roches primitives de la Scandinavie ont été transportés du N. vers le S., et ont formé des accumulations très épaisses sur les plaines et les plateaux de la Norvège, de la Suède et de la Finlande, au N. et au S. de la Baltique, et nécessairement aussi au fond de cette mer, qui paraît avoir été la partie centrale et la plus profonde de l'immense bassin diluvien. J'ai décrit précédemment (1) les caractères généraux du terrain de transport et des blocs erratiques en Finlande, en Russie, en Pologne, en Allemagne et dans le Danemarck. Je me bornerai donc à indiquer les principaux faits que j'ai observés dernièrement en Suède et en Norvège.

Les accumulations de détritits primitifs qui couvrent la majeure partie du sol de la Suède et de la Finlande présentent diverses dispositions, et donnent lieu à des accidents de terrain de formes très variées: on désigne généralement, en Suède, ces accidents sous le nom de *ås* (au pluriel *åsars*); mais on appelle ainsi les élévations de terrain formées principalement de roc solide, et ne présentant que des lambeaux superficiels de dépôt de transport, aussi bien que les collines composées entièrement de terrain meuble, et l'on désigne même habituellement ces dernières sous le nom de *sandås* ou *colline de sable*, car le dépôt qui les forme est, dans la plupart des cas, principalement sableux et graveleux.

Dispositions principales du terrain de transport déposé sur les collines granitiques de la Suède.

Souvent le terrain de transport a nivelé les inégalités que présentaient les collines granitiques, et a produit des plateaux et des

(1) *Voyages en Scandinavie, etc. — Géologie.* Par J. Durocher. Et *Bulletin de la Soc. géol.*, séance du 4^{er} décembre 1845.

plaines d'une horizontalité remarquable ; d'autres fois les détritiques ont été répandus comme un manteau à la surface du roc solide , et alors ils ont conservé la forme arrondie , conchoïde des mamelons de granite et de gneiss. Cependant le dépôt s'est fait de préférence sur le côté méridional , ou plus généralement sur le côté abrité des rochers , et quelquefois il se présente, comme au Kinnekulle , sous forme d'une longue traînée. Les entassements de débris que l'on voit sur le flanc ou au pied des collines ont souvent la forme de monticules mamelonnés , jonchés de quartiers de rochers de plus de 10 mètres de longueur. Ces blocs gigantesques sont couchés pêle-mêle , les uns reposant à la surface du dépôt de graviers et de cailloux , les autres enfoncés dedans. Quelquefois le dépôt de transport simule un amphithéâtre ou un cirque, comme on le voit aux environs de la fonderie de canons d'Åker ; il semble que ce soit l'effet d'un grand remous des eaux ; ailleurs on y remarque des cavités en forme de bassins , de fonds de chaudière. Beaucoup de lacs en Suède , et principalement en Finlande , paraissent occuper le fond de cavités situées au milieu du terrain sableux , et sont allongés parallèlement à la direction générale des stries dans la contrée environnante.

Formes diverses des âsars entièrement composés de terrain meuble.

Les figures 2 , 3 , 4 et 5 représentent les formes principales qu'affectent les âsars , lorsqu'ils sont entièrement composés de terrain meuble : très fréquemment , à la surface des plaines diluviennes très unies , on voit des exhaussements en forme de dômes surbaissés ou de calottes sphériques (voir la fig. 2), ayant de 3 à 6 et 8 mètres de hauteur , et parsemés de gros blocs anguleux.

La fig. 3 indique des collines allongées en forme de chaussées aplaties , semblables à la SERRA du Piémont , déposée à l'embouchure de la vallée d'Aoste dans la plaine ; cette forme est principalement développée dans la partie de la Suède que traverse le 60° degré de latitude , et qui est la plus fréquentée ; aussi a-t-elle été particulièrement remarquée ; mais elle n'est pas inhérente aux âsars d'une manière absolue. Ces chaussées sont souvent ébréchées (fig. 4) ; elles ressemblent fréquemment à des prismes triangulaires , dont la section est représentée fig. 5. Elles se voient , en général , dans les parties plates de la Suède , à la surface des plaines ou des plateaux ; mais on en trouve aussi sur le bord et dans le fond même des vallées : dans ce dernier cas , elles ont presque toujours en coupe la forme triangulaire ; et il n'est pas

rare de voir trois ou quatre de ces traînées de détritns disposées parallèlement et formant des sillons inégaux , comme c'est indiqué dans la fig. 6, dessinée entre Öfve Hogdal et Rätan (Jemtland). Quelquefois les âsars, aplatis en forme de terrasses, sont parsemés de monticules et disposés en forme de dômes semblables à ceux que j'ai dessinés (fig. 7) entre la petite ville d'*Halmstad* et la maison de poste de *Kärrby*.

Directions des âsars dans la partie S.-E. de la Suède

Quant à la direction de ces collines allongées et de ces chaussées aplaties ou à section triangulaire, elle est en rapport évident avec le phénomène des érosions. Nous avons vu que les stries et les sillons ne sont pas dirigés du N. au S. dans toute l'étendue de la Scandinavie; il en est de même de ces âsars, et les observations que j'ai faites dans les différentes régions où j'ai voyagé m'ont amené à conclure que les traînées de détritns sont généralement allongées dans le sens du système d'érosions qui prédomine dans chaque zone, et, ce qui est encore plus remarquable, c'est que dans les régions où il y a plusieurs systèmes de stries, il y a souvent aussi plusieurs systèmes d'âsars ou de traînées de détritns. Ainsi, j'ai mesuré la direction de plusieurs groupes d'âsars au nord d'Upsal, et j'en ai vu qui sont dirigés au N.-N.-E. et d'autres au N.-N.-O. Ce fait se reconnaît même sur les grandes traînées de terrain meuble qui sont indiquées sur les cartes d'Hermelin et Forselle, et à la surface desquelles sont ordinairement établies les routes; cependant il faut noter que ces traînées, qui se prolongent à de très grandes distances ne forment pas en général des âsars tout-à-fait continus, mais des séries ou de petites chaînes d'âsars successifs. La ligne d'âsars la plus considérable de l'Upland, celle qui va d'Upsal à l'embouchure du *Dalef* dans la mer, près de Gefle, présente certaines parties dirigées du N. au S.; néanmoins elle affecte plus généralement la direction N. 15° O.; mais à l'est de cette ligne, il y a d'autres séries d'âsars qui courent entre le N.-S. et le N.-N.-E. sur de très grandes étendues; ainsi il en est une qui s'étend à l'est de Sigtuna de *Åsby* à *Åshusby* du N. 13° E. au S. 13° O. sur 8 kilomètres, une autre, dirigée N. 15° E., s'étend sur 20 kilomètres de Låby à Tobo; une autre, dirigée N. 30° E., se prolonge de Carlholm, au bord de la mer, jusqu'auprès d'Ulfors, sur 28 kilomètres.

Plus à l'Ouest, dans la *Westmanie*, aux environs de Westerås,

Köping, Nora, etc., les lignes d'âsars sont habituellement dirigées, non plus entre le N.-S. et le N.-N.-E., mais entre le N.-S. et le N.-N.-O.; il y en a un grand nombre que l'on peut suivre sur des distances fort considérables; je citerai pour exemple celle qui s'étend sur 28 kilomètres de longueur du N. 18° O. au S. 18° E., depuis Fellingsbro (entre Linde et Arboga) jusqu'à l'île *Winö* dans le Hjelmar; elle se dessine même au milieu de ce lac sous forme de bancs de sable.

Direction des âsars en Finlande.

En Finlande, où les sulcatures sont dirigées en moyenne du N. 35° O. au S. 35° E., les terrasses de dépôt de transport que j'ai eu l'occasion d'observer sont allongées dans le même sens; mais il faut, en général, avoir soin d'examiner si les âsars sont composés entièrement de terrain meuble ou si ce terrain forme simplement une couverture au-dessus des rochers granitiques, car alors leur direction peut être fort différente de celle des stries.

Directions des âsars dans l'Est du Jemtland.

Entre le lac d'Östersund et la frontière de Norvège, dans la partie orientale du Jemtland, où la plupart des sulcatures sont dirigées de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E., les collines diluviennes sont allongées dans le même sens. Mais sur la côte S.-O. de la Suède, on voit des terrasses telles que celle représentée par la fig. 7 (entre *Halmstad* et *Kürby*), qui sont allongées du N.-E. au S.-O., c'est-à-dire suivant la direction principale des stries dans cette contrée.

Nous avons vu que dans les vallées norvégiennes dont les flancs sont continus et un peu élevés, les stries suivent la direction du Thalweg; il en est de même des traînées de graviers et de cailloux que l'on rencontre fréquemment dans les parties où ces vallées ont une largeur un peu grande.

Dans les vallées de la Suède le dépôt de transport ne présente pas de terrasses en gradins comme dans les vallées des Alpes et des Pyrénées.

On ne remarque pas en Suède le phénomène des terrasses diluviennes disposées en gradins, qui se montre si bien développé dans les grandes vallées des Alpes, des Pyrénées, voir fig. 8, des Vosges, et quelquefois aussi dans le nord de l'Allemagne, où les grands

fleuves, tels que l'Elbe, l'Oder, etc., coulent à un niveau de 30 mètres environ au-dessous de la surface du dépôt diluvien : ces terrasses en gradins sont dues à ce que les eaux ont creusé leur lit au milieu d'un terrain de transport d'une assez grande épaisseur, et l'ont approfondi à plusieurs époques successives, entraînant avec elles les matériaux dont il est composé. Or les grands fleuves de la Suède, le Dal-Elf, le Ljusne-Elf, le Göta-Elf, etc., ne coulent point entre des parois rocheuses continues; ils sont simplement bordés de collines détachées et laissant entre elles des intervalles vides : on comprend alors que les courants diluviens de la Suède n'ont point été resserrés entre des barrières continues, mais se sont répandus uniformément sur toute la contrée. Par suite il y a eu diffusion des matériaux transportés sur de très vastes surfaces, et non agglomération au sein des vallées, d'autant plus que le mouvement des agents de transport a eu lieu, dans beaucoup de cas, obliquement par rapport à ces vallées. En outre, leur fond n'offre pas une pente graduelle et continue, mais une succession de parties plates, souvent occupées par des lacs, et de cascades formant comme des barrages naturels; des fleuves placés dans de semblables conditions ont peu de tendance à approfondir leur lit, et se rapprochent des rivières canalisées. Ces digues de granite et de gneiss maintiennent le niveau des eaux dans des conditions de fixité qui contrastent avec le changement perpétuel de niveau qu'éprouvent beaucoup de grandes rivières de l'Europe, lorsque leur régime n'a pas été réglé par des travaux d'art.

Les stries que l'on remarque en beaucoup d'endroits disposées obliquement sur les rochers des cascades, et que n'a pu encore détruire l'eau qui coule sans cesse à leur surface, montrent combien est faible l'action érosive de l'eau lorsqu'elle est pure; elles attestent aussi que ces barrages ou ces repères naturels sont encore aujourd'hui tels qu'ils étaient à la fin de la période diluvienne, et par suite les eaux de ces fleuves ont été maintenues entre les mêmes limites depuis cette époque jusqu'à présent.

Dans les vallées norvégiennes il y a des terrasses de dépôt de transport semblables à celles des Alpes et des Pyrénées.

Dans les régions montagneuses de la Norvège, il y a des vallées bordées de flancs continus, comme dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges, et dans les parties où le dépôt de transport est un peu épais, on y remarque souvent de belles terrasses disposées en gradins, ayant jusqu'à 20 et 30 mètres de hauteur; ainsi leur ab-

sence en Suède et en Finlande tient uniquement à une différence dans la structure du terrain. La formation des magnifiques terrasses que l'on voit près de l'embouchure des larges vallées norvégiennes dans la mer, ainsi dans les anciens fiords de *Drontheim*, de *Værdalsören*, dans le Finmarck, etc., paraît dépendre de l'action des eaux marines, lorsqu'elles s'élevaient plus haut qu'aujourd'hui; mais il y a aussi des terrasses à une altitude de 5 à 600 mètres au-dessus de la mer, ainsi dans les vallées de Foldal, de la Glommen, du Guldbrandsdal, etc.

Nature des matériaux constituant le terrain de transport.

Les matériaux constituant le terrain de transport du nord de l'Europe sont des détritits sableux, argilosableux, des graviers, des cailloux et fragments divers plus ou moins usés et arrondis pour la plupart: quant aux blocs erratiques, les plus gros et ceux qui ont les arêtes tout-à-fait vives et les angles aigus se voient à la surface du dépôt; ceux que l'on trouve à l'intérieur sont en général plus petits, ont les angles moins aigus, et beaucoup sont grossièrement arrondis. Quand le dépôt erratique forme des entassements irréguliers sur le flanc des collines, le mélange des matériaux est plus confus, les cailloux et les gros fragments y sont en général plus abondants; sur les plaines ou les plateaux qui ont été nivelés, et dont la surface se rapproche d'être horizontale, de même que dans les âsars en forme de larges chaussées plates, ou dans les terrasses en gradins des vallées norvégiennes, le dépôt de transport est plus sableux et graveleux, les cailloux y sont moins volumineux et mieux roulés; les blocs d'un volume de plusieurs pieds cubes se rencontrent plus habituellement à l'intérieur des dépôts qui renferment beaucoup de cailloux roulés, mais j'en ai aussi remarqué dans les parties formées de graviers ou de sable presque pur. D'ailleurs nous avons déjà dit que ces dépôts présentent quelquefois des indices de stratification, et offrent un commencement de triage des éléments d'après leur grosseur et leur nature.

Les dépôts sont principalement sableux et graveleux avec mélange de fragments roulés.

Cependant l'un des caractères principaux des terrains de transport dans le nord de l'Europe consiste en ce que, excepté à la surface, les gros fragments y sont en faible proportion, compara-

tivement aux menus détritits ; ce sont principalement des dépôts sableux et graveleux , mélangés d'une quantité plus ou moins grande de cailloux roulés, et c'est ce qui leur a fait donner le nom de collines de sable, *sandåsar*. Entre ces collines et les moraines abandonnées par les glaciers, il y a des différences notables sous le rapport de la configuration extérieure, de la grosseur des matériaux , de leur état de conservation et de leur distribution : les moraines n'ont pas la forme de terrasses ou de larges chaussées aplaties en haut, et à section trapézoïdale ; il s'y trouve en général plus de gros fragments, les matériaux y sont plus anguleux , mélangés confusément, et ne présentent pas cette répartition par zones de sable et de cailloux que l'on remarque fréquemment dans le nord de l'Europe. D'ailleurs les blocs erratiques gigantesques, s'ils avaient été transportés par des glaciers, devraient se trouver exclusivement dans les accumulations de débris offrant les caractères des moraines, et l'on ne conçoit pas comment ils pourraient se trouver à la surface de dépôts qui présentent les caractères évidents de formations aqueuses. En outre, beaucoup de ces blocs proviennent de contrées basses qui ont été entièrement couvertes par les agents érosifs, et, par suite, ils ne peuvent résulter d'éboulements ayant eu lieu au-dessus des glaciers que l'on suppose avoir strié la surface de ces collines : ils auraient alors l'origine qui leur a été attribuée par M. de Charpentier, savoir qu'ils auraient été arrachés par les glaciers à leur fond, et se seraient élevés progressivement à leur surface ; mais cette opinion me paraît difficile à admettre, d'autant plus que les très grands blocs qui gisent à la surface des dépôts de transport ne présentent pas de traces de frottement.

Abondance des fragments erratiques d'une même espèce autour de leur gisement originaire, et ailleurs prédominance des fragments granitiques.

Comme l'ont remarqué MM. de Verneuil et Murchison ; il y a des régions où les blocs erratiques sont beaucoup plus abondants qu'ailleurs, et dans les lieux où ces blocs sont très gros, très rapprochés et tous de la même espèce, ils ont été amenés de petites distances ou n'ont même été que déplacés ; mais il n'en est pas ainsi dans d'autres régions où il y a des blocs de natures très diverses et aussi très abondants et formant comme une mosaïque, ainsi que je l'ai remarqué près de Falun et en beaucoup d'endroits, principalement sur les côtes de la Baltique. D'ailleurs, l'abondance des fragments

erratiques d'une même espèce autour de leur gisement originaire est un fait général, qui n'a pas lieu seulement en Norvège, en Suède et en Finlande, mais aussi au midi de la Baltique; ainsi dans le voisinage des points où affleurent des roches secondaires, du calcaire crétacé, par exemple, les fragments arrachés à ce terrain prédominant, mais seulement dans un cercle circonscrit autour de ces affleurements; car à une certaine distance, là où le roc solide est recouvert par une grande épaisseur du dépôt de transport, ce sont les blocs et cailloux formés de granite, c'est-à-dire de la roche la plus répandue en Suède et en Finlande, qui redeviennent prédominants.

Causes de la prédominance du granite dans les dépôts erratiques du nord de l'Europe, des Alpes et des Pyrénées.

Lors de mes différents voyages en Russie, en Allemagne, en Danemark, en Suède, Norvège et Finlande, j'ai observé que les blocs de granite sont beaucoup plus abondants et plus gros que ceux de gneiss et des autres roches stratifiées, et que leur proportion est beaucoup plus grande qu'elle ne devrait être, même eu égard à la distribution relative du granite et des roches schisteuses à la surface de la Scandinavie. Une observation analogue peut être faite pour le terrain erratique des Alpes et des Pyrénées; ainsi l'on trouve, sur le versant méridional du Jura, beaucoup plus de blocs de granite que de roches stratifiées; et il en est de même dans les vallées pyrénéennes. Cela me paraît provenir de la tendance du granite à se diviser suivant des surfaces conchoïdales, tendance déjà signalée par M. de Buch; en outre, sous l'influence des causes atmosphériques, les roches pyrogènes ou massives se divisent plus facilement en fragments volumineux que les roches schisteuses; et, en vertu de leur plus grande dureté, ces fragments se conservent mieux dans le transport.

D'ailleurs, la démolition des roches qui a fourni une si énorme quantité de gros blocs livrés au transport, ne me paraît pas avoir eu lieu exclusivement pendant la période diluvienne, mais aussi bien des siècles auparavant, et avoir été activée par la rigueur du climat qui est si favorable aux effets destructeurs de la congélation de l'eau infiltrée dans les fissures des roches.

La présence des blocs gigantesques à la surface du dépôt de transport de la Scandinavie, montre que c'est vers la fin de la période où il se formait que se sont rencontrées les conditions les plus favorables au transport de ces grands quartiers de rochers;

ils présentent souvent dans leur gisement des circonstances analogues à celles qui ont été remarquées en Suisse, comme le montre un gros bloc de granite que l'on voit à 800 mètres environ à l'O. des mines de Falun; il a 8 à 9 mètres de long sur 6 de large et 4 de hauteur; il est divisé en deux parties et paraît s'être brisé en tombant.

Le transport des blocs erratiques du Nord a été effectué par des glaces flottantes.

J'ai démontré, dans un précédent mémoire (1), que les blocs erratiques répandus dans le nord de l'Allemagne et le Danemarck, se trouvant associés à des dépôts coquilliers, n'ont pu être transportés par des courants violents, qui auraient brisé les coquilles, mais par des glaces flottantes, et j'ai cité, à l'appui de cette manière de voir, leur disposition en amas, en couronnes ou demi-anneaux sur les flancs des collines, et en général, leur abondance beaucoup plus grande sur les élévations de terrain que dans les dépressions. Cela résulte de ce que les radeaux de glace qui les transportaient ont été arrêtés sur les collines qui formaient alors des îles ou des bas-fonds, et en déposant leur chargement, elles y ont laissé une grande quantité de blocs, tandis qu'ailleurs ils sont disséminés isolément. Le même caractère général se manifeste en Suède; c'est à la surface des âsars, qui forment des exhaussements sur les plaines diluviennes, que les blocs erratiques forment des groupes; ils sont habituellement plus nombreux et en amas plus considérables sur les élévations de terrain que dans les parties basses.

Les glaces flottantes ne proviennent pas de glaciers situés sur les régions de l'ancienne mer scandinave.

MM. Murchison et de Verneuil regardent aussi le transport des blocs erratiques comme s'étant effectué à l'aide de radeaux de glaces flottantes; mais dans l'explication de ce phénomène, ils ont attribué aux glaces une autre origine que celle indiquée dans mon précédent mémoire: ils supposent que des glaciers bordaient l'ancienne mer diluvienne, dont les rivages se trouvaient au pied de la chaîne de montagnes qui sépare la Suède de la Norvège et de la Laponie; des masses de glace, détachées de ces glaciers, auront

(1) *Voyage en Scandinavie. — Géologie*, par J. Durocher.

emporté avec elles les blocs qui se trouvaient à leur surface , et auront déposé leur chargement à de très grandes distances. Mais cette bande montagneuse, d'où auraient été détachés les blocs, est composée principalement de roches schisteuses , et le granite y est en petite quantité , tandis que la plus grande partie des blocs transportés vers le Midi est formée de granite : la nature et la composition minéralogique des matériaux déposés au sud de la Baltique dans les parties méridionales de la Suède , montrent qu'ils proviennent des collines basses et mamelonnées de la Suède et de la Finlande plutôt que des hautes régions. Les blocs ont été saisis sur presque toute la surface des contrées soumises aux actions erratiques , même dans les régions situées au midi de la Baltique , témoins les blocs de calcaire jurassique de la Pologne et ceux de calcaire à bélemnites du nord de l'Allemagne ; mais ces roches étant beaucoup moins dures et moins tenaces que les roches granitiques de la Scandinavie , les blocs qui en proviennent sont resserrés dans des zones circonscrites autour de leur gisement original , et n'ont pas été transportés à d'aussi grandes distances. Puisque les blocs erratiques proviennent principalement de l'intérieur des contrées scandinaves et non de la bande montagneuse située entre la Norvège et la Suède , on ne peut admettre que la glace qui les a transportés ait été détachée de glaciers situés entre les montagnes sur les rivages extérieurs du bassin diluvien ; une semblable origine pourrait être vraie pour quelques blocs provenant des régions élevées ; mais ce n'est pas le cas général. Il y a eu dans ce phénomène des circonstances locales d'une certaine complexité ; mais l'explication qui me paraît la plus simple et qui rend le mieux raison de l'ensemble des faits, est celle que j'ai développée dans le mémoire déjà cité ; elle consiste à supposer que pendant les hivers de la période diluvienne , plus froids qu'ils ne le sont aujourd'hui , des glaces d'une assez grande épaisseur se sont formées sur des côtes basses et ont emprisonné les blocs qui s'y trouvaient , et ensuite ayant été mises à flot lors des débâcles du printemps , elles les ont transportées au loin. Ce phénomène qui se produit encore aujourd'hui , sur une petite échelle, sur les côtes de la Baltique , sur les bords des fleuves et des lacs du nord de l'Europe , a dû avoir lieu pendant toute la série d'années où s'est faite l'émersion graduelle des contrées scandinaves , émersion par suite de laquelle les niveaux relatifs des roches et de la surface des eaux ont varié d'une manière successive.

Il est plus difficile d'expliquer le transport des blocs erratiques que l'on rencontre fréquemment sur le haut des sommités très éle-

vées, sur Åreskuttan, par exemple, à une altitude de 1,484 mètres; mais ces blocs sont, en général, beaucoup moins gros que ceux des contrées basses; leur volume dépasse rarement 2 mètres cubes, leurs angles sont aussi moins aigus; ils sont analogues à ceux que l'on trouve à l'intérieur des dépôts des débris entassés confusément sur le penchant des collines; leur transport se conçoit plus aisément, sans avoir besoin de recourir à des glaces flottantes, que celui de blocs ayant un volume de plus de 100 mètres cubes et ne présentant aucune trace de frottement.

Dépôts formés dans les ravins sur les flancs des hautes montagnes en Suède et en Norvège.

J'ai encore à signaler une manière d'être sous laquelle se présentent quelquefois les dépôts de transport de la Scandinavie, mais seulement dans les régions montagneuses de la Suède et de la Norvège, et cette manière d'être est la seule qui me paraisse offrir quelque analogie avec les moraines des glaciers; ce sont les dépôts occupant le fond des ravins ou de vallons étroits, fortement inclinés, peu étendus en longueur et aboutissant à une crête de montagne ou à un plateau élevé (fig. 8). On y voit une accumulation confuse de débris de divers grosseurs, qui diffère des âsars diluviens, non seulement par la forme, mais aussi en ce qu'il s'y trouve généralement moins de sable et de menus détritits, et en ce que les fragments, bien qu'un peu usés par frottement, ne sont pas arrondis comme dans la plupart des âsars, et au lieu de provenir de lieux éloignés, ils ont été détachés du massif montagneux sur le penchant duquel ils se trouvent; les torrents ont habituellement creusé leur lit au milieu de ces dépôts, et y ont fait des coupes sur lesquelles on peut en étudier la composition. On en voit beaucoup d'exemples dans les ravins ou petits vallons qui descendent du Dovre, du Langfield, etc., et débouchent dans les vallées principales; sur le penchant d'Åreskuttan et des montagnes qui séparent la Suède de la Norvège. On voit des accumulations de débris du même genre dans les ravins ou découpures que présente le flanc des montagnes dans les Alpes et les Pyrénées.

Remarques sur l'origine de ces dépôts.

Les partisans de l'école glacialiste considèrent ces dépôts comme d'anciennes moraines; cependant leur origine est problématique, et

peut se rattacher à des causes diverses : ainsi ils peuvent avoir été formés par des courants boueux ou d'énormes avalanches de débris provenant d'une fonte subite de neiges et de glaces, ou bien ils peuvent être le résultat d'une accumulation de détritiques entraînés de dessus la pente des rochers à la fonte des neiges, qui a lieu chaque printemps ; c'est surtout dans le nord de l'Europe que la surface des montagnes est couverte de débris, et souvent il est presque impossible de voir la roche en place. Au-dessous des grandes plaques isolées de névé, qui sont couchées sur le flanc des hautes sommités, dans les crevasses ou les ravins, et qui forment comme des glaciers éphémères, j'ai remarqué des amas souvent fort considérables de gros et petits fragments, de menus détritiques, constamment imprégnés d'eau par la fonte des névés, et formant une masse boueuse qui glisse le long de la pente du terrain, et coule sous les pieds lorsqu'on se hasarde à marcher dessus. Il en résulte des dépôts qui sont égalisés par les eaux, et qui ressemblent à ceux que l'on trouve aujourd'hui dans les ravins, à un niveau beaucoup plus bas, à 500 mètres seulement au-dessus de la mer. Quelle que soit l'origine de ces derniers, il faut distinguer les actions locales qui les ont produites des actions générales qui ont formé les dépôts des grandes vallées ou des plaines, et qui ont produit de profondes érosions sur le flanc des montagnes. Je n'ai point vu dans ces ravins de stries ni de sillons disposés dans le sens de leur inclinaison ; mais, sur les rochers qui les bordent, on voit très souvent des stries peu éloignées de l'horizontalité, disposées parallèlement à l'axe des montagnes, c'est-à-dire dans un sens à peu près transversal à ces ravins.

*Distinction des actions locales et des actions générales facile
à Åreskuttan.*

Sur le massif d'Åreskuttan, qui est formé de micaschiste, la distinction est facile à faire ; dans le ravin le long duquel descend le torrent qui fait mouvoir les soufflets de l'usine à cuivre d'*Huså*, est un dépôt formé de gros fragments non arrondis et de menus détritiques de micaschiste détachés de cette montagne, et descendus de la crête vers le lac Kalln ; mais, sur le versant septentrional de cette montagne, on voit en beaucoup d'endroits une petite couche de sable, de graviers et de cailloux bien arrondis, les uns de micaschiste et de gneiss, les autres de granite, et il s'y trouve aussi des blocs erratiques de granite. Quant aux stries que j'ai vues sur cette montagne et à son pied, elles sont toutes disposées à peu près pa-

rallèlement à l'axe, ou coupant l'axe sous un angle de 15 à 20°; mais je n'en ai vu aucune qui soit disposée dans le sens des ravins ou transversalement, et que l'on puisse rattacher aux actions locales qui ont formé les dépôts de débris remplissant le fond de ces ravins.

Ainsi le phénomène des sulcatures et des dépôts de transport est complexe; il y a eu des actions locales, resserrées dans des ravins ou des vallons étroits, et des actions générales, qui se sont développées d'une manière continue le long des vallées, sur les plateaux ondulés et sur les collines mamelonnées de la Scandinavie : c'est à celles-là que se rattachent les grands systèmes d'érosions, qui se sont étendus, comme nous l'avons fait voir, sur d'immenses surfaces, en suivant des directions généralement constantes.

OBJECTIONS A L'HYPOTHÈSE DES GLACIERS QUI AURAIENT COUVERT
TOUTE LA SCANDINAVIE.

En décrivant quelques uns des caractères des érosions et des dépôts de transport du nord de l'Europe, j'ai montré que la théorie glaciaire ne peut pas en rendre raison; je vais indiquer ici quelques autres objections reposant sur ce principe, que la Scandinavie n'a pu offrir l'ensemble des conditions que nécessitent la formation et le développement des glaciers actuels.

*Deux caractères essentiels aux phénomènes erratiques du nord de
l'Europe.*

Deux caractères essentiels spécifient les phénomènes erratiques du nord de l'Europe, et les distinguent de ceux des Alpes et des Pyrénées :

1° Leur développement principal a eu lieu non au sein d'une région montagneuse, mais sur des surfaces plates, ondulées, mamelonnées, et jusqu'à des distances de plus de 200 lieues des hautes montagnes (en Finlande).

2° Dans beaucoup de régions, ainsi dans la partie de la Suède qui est située au midi du 64^e degré de latitude, et dans certaines parties de la Finlande, le mouvement général des agents erratiques ne s'est pas fait dans le sens des pentes suivant lesquelles coulent les fleuves actuels, mais dans un sens oblique ou presque transversal, et souvent il a eu lieu en remontant; nous allons citer plusieurs exemples de mouvements ascensionnels sur des distances considérables.

Difficultés relatives au développement des glaciers en Suède et en Finlande.

Jusqu'à présent on n'a observé de glaciers que dans des régions montagneuses ; cependant des géologues fort distingués , et entre autres M. de Charpentier , prétendent que les montagnes ne sont pas nécessaires à la formation des glaciers : « *ce n'est, suivant lui, que leur climat froid, neigeux et pluvieux qui détermine la formation, le développement et le mouvement des glaciers.* » Mais cette manière de voir me paraît incompatible avec les faits que j'ai observés dans les contrées boréales : ainsi sur le plateau de l'île Cherry (île de l'Ours), à l'île d'Amsterdam, à l'île des Danois, etc., qui se trouvent à peu près à la limite des neiges perpétuelles, on ne voit pas de glaciers, bien que leur climat puisse être pris pour type des climats insulaires ou maritimes, bien qu'il soit aussi neigeux et aussi humide que celui d'aucun lieu du monde ; ces îles ont cependant une assez grande étendue, et il s'y trouve même des cîmes qui ont jusqu'à 300 mètres de hauteur (à l'île Cherry). Dans mon dernier voyage en Norvège, j'ai encore eu l'occasion de me convaincre que sur les terrains plats on ne voit pas de glaciers susceptibles de se mouvoir, et de transporter au loin des débris de roches, que la présence de sommités isolées est même insuffisante pour leur formation, et qu'elle n'a lieu que là où se trouve un groupe de rochers ou un massif découpé en plusieurs parties laissant entre elles des gorges ou des dépressions. Les glaciers étant dans l'origine d'épaisses accumulations de neige qui, en descendant vers des zones atmosphériques de plus en plus chaudes, se changent peu à peu en glace par l'imbibition de l'eau et la congélation, il est évident que des gorges environnées de pics, et emmagasinant toute la neige qui tombe autour d'eux, et qui glisse suivant les pentes du terrain, de même que l'eau pluviale et celle provenant de la fonte superficielle, ces gorges doivent offrir les conditions les plus favorables à la formation des glaciers. Si la couche de neige tombée pendant l'hiver à la surface d'un sol plat et incomplètement fondue pendant l'été pouvait donner naissance à un glacier qui serait nécessairement d'une faible épaisseur, et si l'on supposait que ce glacier s'avancât du nord vers le midi, comme cela aurait eu lieu en Suède et en Finlande, il aurait été fondu avant de pouvoir parvenir à une grande distance de son origine ; car même au Spitzberg, à la limite des neiges perpétuelles, sous un des climats les plus froids et les plus neigeux que

l'on connaisse, des surfaces inclinées de quelques degrés seulement et tournées vers le midi se dépouillent de neige pendant la courte durée des étés.

Les glacialistes qui ont voulu appliquer leur théorie au nord de l'Europe ont raisonné en général dans la supposition de glaciers locaux et circonscrits aux rochers d'où ils étaient partis; nous avons vu qu'il y a eu en effet des actions locales, mais que la disposition des grands systèmes de sulcatures atteste l'existence d'actions générales, développées dans un même sens sur une grande étendue de pays, ce qui est aussi confirmé par l'orientation des âsars, et par le transport des blocs erratiques que l'on trouve au midi de la Baltique, à des distances de plus de 200 lieues de leur origine.

Inclinaison de la zone erratique dans la Suède orientale.

Nous avons reconnu dans la partie orientale de la Suède un grand système d'érosions, tout-à-fait continu, qui s'est étendu sur 750 kilomètres de longueur, depuis le lac d'Östersund jusqu'aux environs de Calmar; or, supposons que l'on trace une ligne droite suivant la direction moyenne de ce système de stries (N. 22° 1/2 O.): elle s'étendra de la rive occidentale du lac d'Östersund jusqu'aux environs de Nyköping, sur une longueur de 480 kilomètres. Si les agents érosifs sont partis non du bassin d'Östersund, mais de sommités situées plus au N., ils ont dû descendre dans cette dépression pour la traverser; car elle est disposée obliquement à leur direction, et ils ont tracé des stries sur ses bords, à une altitude de 304 mètres au-dessus de la mer: par suite, la pente moyenne du terrain sur lequel s'est effectué le mouvement des masses érosives, depuis ce lac jusqu'au littoral des environs de Nyköping, est de $\frac{304}{480000}$ ou 0,000633 ou 2'.

Si, faisant abstraction des dépressions du terrain, on suppose un plan incliné passant par les plus hautes sommités situées au N.-N.-O. du lac d'Östersund, à une distance de 90 kilomètres environ, dans le voisinage du lac d'*Hotagen*, et dont la hauteur est inférieure à 1,200 mètres, ce plan, s'abaissant avec une pente uniforme vers la côte de Nyköping, et passant au-dessus de toutes les hauteurs situées sur le trajet des agents erratiques, aurait eu, sur 570,000 mètres de longueur, une inclinaison de $\frac{1200}{570000}$ ou 0,002105, ou 7'. Cette pente est beaucoup plus petite que celle de la limite supérieure du terrain erratique de la vallée du Rhône, depuis le

Grimsel jusqu'au Chasseron (20' 10'') (1). On n'a pas observé de glaciers dans les Alpes, et je n'en ai pas vu non plus ni au Spitzberg ni en Norvège qui se meuvent sur une étendue de quelques kilomètres avec une pente notablement inférieure à 3°; l'inclinaison de leur fond est à la vérité moindre que celle de leur surface supérieure, mais eu égard à la puissance que peuvent avoir les glaciers, il est peu probable que la pente de leur fond s'abaisse au-dessous de 1° ou même 1 1/2°; il est donc difficile d'admettre qu'autrefois des glaciers aient pu franchir les plateaux de la Suède orientale avec une pente de quelques minutes.

Les agents érosifs ont traversé une série de plans inclinés à pentes opposées.

Il n'y a pas lieu, en Suède, de déterminer la limite supérieure du terrain erratique, comme l'a fait M. Élie de Beaumont pour la vallée du Rhône dans les Alpes, car les agents erratiques n'ont pas suivi une vallée ou un bassin; mais ils ont traversé une série de plateaux et de vallées, et ils ont laissé leurs traces sur les hauteurs comme dans le fond des dépressions. Mais pour bien connaître leur allure, il ne suffit pas de déterminer, comme nous venons de le faire, l'inclinaison maximum de leur surface inférieure, en supposant qu'elle ait formé un plan incliné uniforme; il faut aussi examiner les ondulations principales de cette surface; or, ces ondulations présentent une série de plans inclinés en divers sens, de pentes ascendantes et descendantes, en rapport avec les lignes de partage des eaux: ainsi, en quittant le bassin silurien du lac d'Östersund, les agents erratiques ont dû s'élever jusqu'aux plateaux de Loos, situés 11 myriamètres plus loin, qui séparent cette dépression de celle du lac Siljan. Dans cette partie de leur trajet, ils ont donc eu un mouvement ascensionnel, et ils ont atteint une élévation de 400 mètres, supérieure d'une centaine de mètres au niveau du lac d'Östersund; ensuite ils sont redescendus, en se dirigeant toujours vers le S. S.-E., et parcourant des surfaces diversement ondulées. Mais si on considère la partie occidentale du même système d'érosions, on voit qu'à partir de la contrée d'Örebro, située entre les lacs Hjelmars et Wenern, et dont le niveau moyen est inférieur à 100 mètres, les agents erratiques

(1) *Annales des sciences géologiques. — Note sur les pentes de la limite supérieure de la zone erratique*, par M. Élie de Beaumont

ont eu de nouveau un mouvement ascensionnel pour atteindre le plateau d'Ecksjö et Wexjö, situé entre le lac Wettern et la côte de Calmar, et dont l'altitude varie de 2 à 300 mètres. Il en est de même des forces érosives qui ont strié les sommets de l'Omberg, du Taberg, du Billingen et du Kinnekulle, élevés aussi de 2 à 300 mètres; mais ces forces agissaient du N.-N.-E. vers le S.-S.-E.; et dériveraient probablement du golfe de Botnie; d'ailleurs, au N.-N.-E. de ces cimes isolées, il n'y a que des collines beaucoup plus basses.

Le système sulcateur de la contrée d'Åreskuttan a eu un mouvement ascensionnel.

Le système sulcateur le plus développé dans la contrée d'Åreskuttan, entre le lac d'Östersund et le col de *Skalstuga*, sur la frontière de Norvège, s'est avancé, comme nous l'avons vu, de l'O.-N.-O. vers l'E.-S.-E., et s'est élevé jusqu'au haut de la cime d'Åreskuttan, à 1,484 mètres; mais dans la zone dont il dérive, la sommité la plus haute est celle de *Kelahögen* (1,262 mètres); ainsi en admettant qu'il en soit parti, il aurait eu un mouvement ascensionnel, et se serait élevé à 222 mètres plus haut que son point de départ; d'ailleurs, avant d'arriver à Åreskuttan, il a dû traverser le lac de *Tengsjön*, élevé seulement de 448 mètres, qui en entoure la base du côté occidental, et sur le bord duquel on voit des stries dirigées de la même manière (O.-N.-O.).

Un autre système d'agents érosifs a envahi la côte occidentale de la Finlande en s'avancant du golfe de Botnie vers le S. 35° O.; ces agents se sont élevés jusqu'à un niveau presque toujours inférieur à 100 mètres; ils ont marché sur un plateau ondulé, tantôt en montant, tantôt en descendant, et se sont ensuite abaissés vers la partie méridionale du lac Ladoga et le golfe de Finlande, où ils ont tracé des stries exactement parallèles à celles que l'on voit sur la côte orientale du golfe de Botnie. Ils ont donc parcouru une distance de 5 à 600 kilomètres sur des surfaces plates et faiblement ondulées, dont l'inclinaison moyenne est nulle, puisqu'ils sont partis du niveau de la mer pour y revenir.

Lors de la période diluvienne, la surface de la Scandinavie n'a pu former un plan incliné disposé favorablement au mouvement des glaciers.

Il est évident que si les érosions et les dépôts de transport de la Suède et de la Finlande avaient été produits par des glaciers, ils

auraient dû se développer et se mouvoir dans de tout autres conditions que les glaciers actuels. Il semble que l'on éviterait ces difficultés en supposant, comme le conçoit M. Rozet, que les niveaux relatifs des diverses parties de la Scandinavie aient été autrefois fort différents de ce qu'ils sont aujourd'hui; mais comme les surfaces sur lesquelles se sont mus les agents erratiques sont alternativement inclinées dans les deux sens, de la même manière que les côtés opposés de toits successifs, dont les arêtes sont représentées par les lignes de partage des eaux; comme ces surfaces offrent sur de grandes étendues de terrain des pentes, tantôt ascensionnelles, tantôt descensionnelles, il faudrait supposer que les phénomènes qui ont produit l'accidentation générale de ces contrées, ou la disposition des lignes de partage des eaux, sont postérieurs à la période diluvienne, ce qui est tout-à-fait inadmissible.

D'ailleurs, si l'on considère l'immense étendue des contrées où l'on observe des stries et des sillons disposés dans le même sens et venant des mêmes points, on reconnaît qu'il faudrait supposer d'énormes changements de niveau pour y faire naître des plans inclinés, tels que ceux sur lesquels se meuvent aujourd'hui les glaciers: ainsi, par exemple, pour que le sol de la Finlande eût offert aux agents erratiques qui l'ont traversée sur 500 kilomètres de longueur, de Gamle-Carleby jusqu'à l'extrémité du golfe de Finlande, un plan incliné de 1° seulement, il aurait fallu que le bord oriental de la dépression du golfe de Botnie, sur lequel on voit des stries s'élever du N.-N.-O. vers le S.-S.-E., fût plus élevé de 8,726 mètres que la côte de Viborg pour un plan incliné de 1/2° seulement, la différence de niveau aurait dû être de 4,363 mètres; bien peu de géologues admettront qu'une déformation aussi énorme se soit opérée depuis la dernière période géologique. D'ailleurs la présence des coquilles marines que l'on trouve à la partie inférieure des âsars de la contrée d'Upsal démontre qu'à cette époque le golfe de Botnie était un fond de mer comme aujourd'hui; et l'ensemble des faits généraux que l'on observe en Scandinavie porte à croire que la partie centrale de cette contrée a éprouvé depuis la période erratique une élévation de niveau plutôt qu'un affaissement.

Difficultés relatives à la traversée des golfes de Botnie et de Finlande ainsi que de la Baltique.

Que les agents erratiques, qui ont strié la surface de la Finlande, proviennent du golfe de Botnie ou de la partie de la Suède qui est

située entre le 64° et le 69° degré de latitude, il y a une égale difficulté pour la théorie glaciaire, dans le premier cas à considérer le golfe de Botnie comme ayant été le berceau des glaciers, dans le second cas à leur faire traverser cette profonde dépression pour remonter sur les collines de la Finlande. La difficulté est encore compliquée par ce fait qu'une partie des masses érosives a dû franchir le golfe de Finlande et la Baltique, vu que sur les îles qui s'y trouvent, ainsi que dans le nord de la Russie et de l'Allemagne on a observé des érosions semblables à celles de la Scandinavie.

On voit que la théorie glaciaire offre des difficultés très graves et incontestables, quand on veut l'appliquer au nord de l'Europe; et les glacialistes doivent penser que si beaucoup de géologues la repoussent, ce n'est pas par esprit de système, mais parce qu'ils y trouvent des obstacles fort difficiles à lever. Je reconnais d'ailleurs que les glaciers peuvent user, polir et strier les rochers, transporter de gros fragments loin de leur gisement; mais la nature a bien des manières de produire les mêmes effets: la minéralogie, la géologie et la chimie nous en offrent de nombreux exemples. D'ailleurs je ne puis comprendre qu'un changement de climat, tel que le comporte l'état de nos connaissances en géologie et en physique terrestre, puisse donner lieu à un développement de glaciers aussi gigantesque tant en puissance qu'en superficie, et puisse déterminer leur mouvement dans des conditions tout autres que celles où a lieu le mouvement des glaciers actuels.

Coup d'œil sur les théories proposées pour expliquer les phénomènes erratiques du nord de l'Europe.

Les faits que j'ai exposés montrent qu'il serait prématuré d'établir une théorie pour expliquer dans tous leurs détails les phénomènes erratiques du nord de l'Europe: ils sont beaucoup plus compliqués que je ne le pensais, lorsque je les étudiai, il y a sept ans, en Finlande, où ils se présentent avec des caractères beaucoup plus uniformes qu'en Suède et en Norvège; du reste, ils ont été jugés par la plupart des observateurs plus simples qu'ils ne le sont réellement. Vu la grande étendue des pays dont la surface a été érodée; vu leur inclinaison, qui est seulement de quelques minutes pour la Suède, et qui est même nulle pour la Finlande; vu l'absence de masses montagneuses offrant des conditions de structure, d'élévation et de position locale analogues à celles que présentent les Alpes; vu que les érosions de la Suède et de la Finlande n'offrent point une disposition divergente à partir des

plus hautes sommités, on ne peut appliquer aux phénomènes erratiques du Nord l'hypothèse d'une fusion instantanée de neiges et de glaces, que l'on a imaginée pour expliquer ceux des Alpes et des Pyrénées. Ce sont à peu près les mêmes objections qui ne permettent pas d'admettre la théorie des glacialistes, car les circonstances dans lesquelles la théorie d'une fusion de neiges et de glaces est applicable sont aussi celles qui facilitent le développement des glaciers. La théorie qui paraît s'appliquer le mieux au nord de l'Europe est celle qui suppose une émergence brusque de la Scandinavie, plongée antérieurement sous les eaux de la mer; pour rendre compte de la disposition des divers systèmes de sulcatures, il faut supposer qu'il y a eu, non pas un soulèvement unique en un point central, mais plusieurs soulèvements locaux dont les centres et les axes correspondent aux points d'où sont partis les divers systèmes d'érosion; ainsi d'énormes masses d'eau ont été mises en mouvement et poussées dans des sens différents. Beaucoup de ces soulèvements ont dû être simultanés, mais probablement pas tous; il est vraisemblable qu'ils ont eu lieu pendant une certaine période de temps. Les systèmes de sulcatures affectent en général une disposition rayonnante, et, comme nous l'avons vu, il en est que l'on peut réunir ensemble, ou considérer comme les branches d'un système général produit par le soulèvement d'une même région. Cependant il ne faut point attacher à cette manière de voir une importance fondamentale; elle me paraît convenir mieux que les autres à l'ensemble des faits connus, mais elle donne lieu aussi à quelques difficultés; ainsi on n'a pas de preuve positive qu'à l'époque antédiluvienne la Suède et la Norvège aient été plongées dans une grande partie de leur étendue sous les eaux de la mer. Comme le phénomène paraît être complexe et qu'il peut avoir été produit par des causes de natures diverses, je pense qu'au lieu de chercher à en donner immédiatement une théorie définitive, il faut attendre que les effets erratiques aient été étudiés sur toute la surface du nord de l'Europe, et que toutes les parties des régions scandinaves aient été minutieusement explorées. Si une étude semblable des directions des stries était faite dans le nord du continent américain, peut-être éclaircirait-elle les questions épineuses qui, depuis plusieurs années, ont si vivement excité l'attention des géologues.

COUP D'OEIL SUR LES PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DES ALPES ET DES PYRÉNÉES , COMPARÉS A CEUX DU NORD DE L'EUROPE.

Je vais ajouter quelques détails succincts pour indiquer les caractères d'analogie et les différences qui existent entre les phénomènes erratiques du nord de l'Europe et ceux des Alpes et des Pyrénées , que j'ai étudiés en 1840 et 1841. J'ai fait connaître en 1841 (1) l'existence des érosions et des blocs erratiques dans les vallées des Pyrénées , et dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences, en avril 1843 (2), et inséré dans les *Voyages en Scandinavie* (*Géographie physique*, tome I^{er}, 2^e partie), j'ai exposé les principaux faits que j'avais observés dans les Alpes et les Pyrénées. Depuis l'époque où ce mémoire a été présenté à l'Académie, M. de Collegno (3) et M. Dupont (4) ont publié des observations très intéressantes sur les phénomènes erratiques des Pyrénées.

Des érosions dans les Alpes et dans les Pyrénées.

Les érosions tracées à la surface des rochers en Scandinavie, dans les Alpes et les Pyrénées présentent à peu près les mêmes formes ; on y voit des surfaces mamelonnées, moutonnées et polies ; des sillons cylindroïdes de quelques pouces de largeur, accompagnés de stries, ayant seulement quelques lignes de diamètre et quelquefois si fines qu'elles ne s'aperçoivent qu'à l'aide du reflet de la lumière. Les sulcatures des Alpes et des Pyrénées offrent souvent, comme en Scandinavie, une allure un peu ondulée, et quelquefois d'un même centre on voit partir plusieurs sillons et stries qui vont en divergeant ; j'en ai représenté (fig. 2) un exemple dessiné dans la vallée de l'Aar, entre le Grinsel et la Handeck. Dans la vallée de la Tête-Noire, qui conduit à *Valorsine*, on voit sur un monticule de poudingue un exemple analogue (fig. 10) : d'un sillon large d'environ 20 centimètres on voit partir une multitude de stries divergentes ; ce sillon forme une entaille cylin-

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 novembre 1841.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, séance du 3 avril 1843.

(3) *Mémoire sur les terrains diluviens des Pyrénées*. — *Annales des sciences géologiques*, 1843.

(4) *Annales des mines*, 1844.

drique creusée sur une paroi de rocher très inclinée ; il a en (A) une profondeur de 10 à 12 centimètres.

Quelquefois les stries semblent aller en montant vers la partie inférieure des vallées, comme on le voit (fig. 7) dans la vallée de l'Aar entre le Grimsel et la Handeck ; on remarque cette circonstance lorsque la vallée se resserre beaucoup ; alors les masses dont le frottement a strié les rochers ont dû suivre une ligne diagonale résultant de leur mouvement général le long de la vallée et du mouvement ascensionnel déterminé par le resserrement des parois. On a remarqué que dans les Alpes les érosions sont en général mieux marquées sur les cols et dans les parties voisines (les cols du Saint-Gothard, du Grimsel, du Saint-Bernard), que dans les parties inférieures des vallées. Ce fait est peut-être indépendant de la cause qui a tracé les sillons et les stries ; en effet, du côté de la Suisse, les contreforts des Alpes et les rochers qui forment l'embouchure des grandes vallées, sont composés de roches calcaires ou de roches tendres, telle que la mollasse ; tandis que l'axe de la chaîne centrale est formé, en grande partie, de roches dures, granite, gneiss, serpentine et autres roches cristallines, qui résistent mieux aux actions atmosphériques, et j'ai remarqué dans plusieurs vallées, ainsi dans celle de la Reuss, que dès l'instant où on entre dans la zone des roches cristallines, on voit apparaître les sillons et les stries fort bien marqués ; certaines vallées en offrent jusqu'à leur extrémité ; ainsi dans celle d'Aoste on en voit jusqu'à l'entrée de la plaine du Piémont, près d'Ivrée. J'ajouterai que dans le fond de plusieurs vallées des Vosges, qui sont formées de granite, telles que celle de la Moselle et de plusieurs de ses affluents, les sulcatures m'ont paru être plus distinctes que sur les parties élevées. Dans les Pyrénées, je n'en ai observé sur aucun col élevé ; cela tient peut-être à ce que la plupart de ces cols sont beaucoup plus étroits que ceux des Alpes et se réduisent souvent à des arêtes aiguës. On voit, d'après cela, qu'il ne faut pas attacher une importance très grande à ce fait que les sulcatures sont plus marquées dans les hautes régions des Alpes, que dans les régions basses.

Élévation maximum des traces du phénomène erratique dans les Alpes.

Néanmoins dans les Alpes, les traces d'usure et de polissage ne s'étendent pas jusqu'au sommet des montagnes ; ainsi on ne peut s'empêcher de remarquer le contraste frappant qu'offrent les ro-

chers polis et moutonnés entourant l'hospice du Saint-Gothard, celui du Grimsel, ou le glacier de l'Aar, avec les cimes rugueuses, hérissées d'aspérités, terminées par des arêtes tranchantes, qui s'élèvent à une élévation de 3 à 4 mille mètres. L'agent inconnu qui a tracé ces empreintes à la surface des rochers a eu son point de départ à une certaine élévation; c'est à partir de la zone actuellement occupée par les névés (environ 2,800 mètres au-dessus de la mer) qu'il a étendu son action sur toutes les vallées.

Élévation maximum des traces du phénomène erratique en Scandinavie.

Il est remarquable que les traces les plus élevées du phénomène erratique de l'Europe se trouvent aussi tout près de la limite des neiges perpétuelles; ainsi les érosions que j'ai vues accompagnées de blocs erratiques de granite, sur la cime culminante d'Åreskuttan, sont à une altitude de 1,484 mètres. Ce sont les plus élevées qui aient encore été observées; or, sous cette latitude ($63^{\circ} 1/2$) la limite des neiges perpétuelles serait à 1,500 mètres ou même un peu au-dessous; on ne l'a pas déterminée sous ce parallèle, vu qu'il n'y a pas de cime assez élevée, mais elle ne doit dépasser que fort peu le sommet d'Åreskuttan. Néanmoins on regardera comme fort singulier que ces érosions observées tout près de la zone des neiges permanentes, résultent d'actions qui n'étaient pas propres à cette montagne, mais qui dérivait de cimes situées à un niveau plus bas d'au moins 200 mètres. D'ailleurs on trouve assez fréquemment en Norvège des stries et des blocs erratiques sur des montagnes élevées de 12 à 1,300 mètres. Ainsi c'est un caractère commun au phénomène erratique du nord et à celui des Alpes, que leur limite supérieure se trouve près de la limite inférieure des neiges ou de la zone sous laquelle a lieu le passage des glaciers proprement dits aux névés. Cependant il faut noter que dans le nord ces sulcatures si élevées sont rares et appartiennent à des systèmes d'érosions qui ne sont pas très développés; les systèmes principaux et les plus importants, ceux qui ont érodé la partie S.-E. et S.-O. de la Suède et la Finlande, et certaines parties de la Norvège, sont partis de plates-formes dont le niveau moyen est inférieur au moins de 6 à 700 mètres à la limite des neiges perpétuelles et dont les sommités les plus élevées se trouvent encore à 2 ou 300 mètres au-dessous. D'ailleurs, on n'observe aucune relation entre ces grands systèmes de sulcatures et les groupes des plus hautes cimes.

Élévation de la limite supérieure de la zone erratique dans les Pyrénées.

Dans les Vosges, il n'y a pas de sommité qui atteigne la zone des neiges perpétuelles : dans les Pyrénées, beaucoup de cimes s'élèvent jusqu'à cette zone ; mais on ne voit pas , comme dans les Alpes, les érosions se prolonger à une aussi grande élévation , et même partout où je les ai observées, elles deviennent plus rares et moins bien marquées sur les hauteurs que dans le fond des vallées. A la vérité, cela ne tient peut-être pas à la nature des forces érosives, mais à une plus grande altération de la surface des rochers sous l'influence des agents atmosphériques. D'ailleurs les blocs erratiques de granite porphyroïde à longs cristaux de feldspath, que l'on trouve abondamment dans la vallée de la Garonne , proviennent du massif granitique du port d'OO , qui s'élève jusqu'à la limite des neiges. Néanmoins les érosions, les terrasses de matériaux de transport et les blocs erratiques se voient sur les flancs des vallées, à une hauteur au-dessus du fond beaucoup moindre que dans les Alpes, et qui dépasse rarement 3 à 400 mètres ; ainsi les convois de détritits et de fragments de roche avaient une épaisseur beaucoup moindre dans les Pyrénées que dans les Alpes.

Il y a dans les Pyrénées de très belles surfaces polies et striées.

Dans le mémoire déjà cité (4), j'ai indiqué une foule de localités dans les Pyrénées, où l'on voit de très belles surfaces polies, des stries et des sillons semblables à ceux des Alpes et de la Scandinavie ; j'en ai observé dans la partie supérieure de la vallée de la Têt, dans celle d'Andorre, jusqu'à 300 mètres environ au-dessous du col qui conduit à Vicdessos, dans les vallées de Carol et de la Sègre, en une foule d'endroits dans la vallée de l'Ariège, du Vicdessos et de leurs affluents. Je citerai particulièrement le vallon de Siguier (affluent du *Vicdessos*) comme un de ceux où on voit les surfaces polies les plus belles et les plus étendues ; les sulcatures s'y présentent avec des caractères si nets et si évidents qu'il est impossible de ne pas les remarquer. J'en ai vu aussi dans les diverses branches de la vallée d'Arran, des vallées de Luchon, du Lys, de l'Essera, de Gèdres, de Gavarni, de Barèges, de Cauterets

(4) *Voyage en Scandinavie. — Géographie physique*, t. I, 2^e partie.

et d'Ossau ; il n'est pas une seule vallée contenant des roches granitiques où je n'aie observé des stries. Cependant le phénomène des érosions y semble moins développé que dans les Alpes, car les surfaces polies et striées y sont moins abondantes, et ont moins d'étendue ; mais je l'attribue à ce que les roches des Pyrénées sont plus altérables que celles des Alpes. C'est sur certaines espèces de granite à grains moyens que les stries sont le mieux conservées ; on en voit souvent aussi sur les roches calcaires de diverses formations : elles sont fréquentes sur le calcaire de transition dans les vallées d'Arran, de l'Essera, d'Ossau, etc. On en observe aussi sur le calcaire liassique de la vallée de Vicdessos et de ses affluents, sur le calcaire crétacé des environs d'Ussat et de Tarascon ; mais je n'en ai point observé sur les roches friables du terrain tertiaire. Dans la plus grande partie de la chaîne des Alpes occidentales, les érosions sont peu développées, et même moins que dans les Pyrénées, à cause de la grande destructibilité des roches et de l'altérabilité de leurs surfaces. Dans la partie méridionale des Vosges que j'ai visitée en 1840, j'ai vu aussi des surfaces striées, principalement sur du granite ; leur état de développement ou de conservation est à peu près le même ou un peu moindre que dans les Pyrénées. Je n'en ai point observé dans les parties de l'Auvergne et des Cévennes, que j'ai eu l'occasion de parcourir. J'ajouterai que dans les Pyrénées et dans les Vosges, là où les surfaces ont conservé leur poli et leurs cannelures, je n'ai point observé de sillons aussi profonds que dans les Alpes et dans le nord de l'Europe ; je suis donc porté à croire que les forces érosives y ont agi avec moins de puissance, et ont entamé moins profondément la surface des rochers, d'autant plus que le caractère des roches moutonnées y est aussi beaucoup moins développé. Toutefois les roches polies et striées se montrent partout en connexion avec les dépôts erratiques : ces deux ordres de faits se présentent toujours ensemble, et attestent le développement d'un phénomène général ; dans les Pyrénées et dans les Vosges, de même que dans les Alpes, ils se rattachent aux mêmes causes.

Disposition divergente des stries dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges.

Sous le rapport de la forme, on ne remarque pas de différences véritablement essentielles entre les érosions du nord de l'Europe et celles des Alpes, si ce n'est que dans les Alpes je n'ai point vu de sulcatures présentant les caractères de ces canaux ou profondes

ornières que j'ai observés en Suède et en Norvège (1). Mais, sous le rapport de la direction des stries, de leur relation avec les accidents de la surface du sol, il y a des différences fondamentales entre les phénomènes du nord et ceux du centre de l'Europe. Dans les Alpes et les Pyrénées, les sillons et les stries sont assujettis invariablement à suivre la direction des différentes vallées; il en est de même des stries que j'ai vues dans les Vosges. Les forces érosives ont eu leur centre d'action sur l'axe même de ces chaînes de montagnes; elles ont rayonné dans tous les sens, en suivant les vallées ou les issues qui leur étaient offertes, soit vers le nord, soit vers le midi.

Différences dans la disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes et sur les plateaux ou régions à collines.

Dans le massif occidental des montagnes de la Norvège, les stries présentent dans leurs directions des caractères analogues à ceux que l'on observe dans les Alpes; elles suivent les longues et profondes déchirures qui découpent les flancs de ces montagnes, et elles divergent à partir de leurs crêtes; mais ces érosions embrassent un champ très limité, et ne s'étendent pas beaucoup au-delà de cette région montagneuse. Ce n'est point là qu'est l'origine des actions développées à la surface de la Suède et de la Finlande; elles se rattachent, comme nous l'avons vu, à différents systèmes descendus de plates-formes situées au-delà du 63^e degré de latitude, dont l'élévation moyenne est inférieure à 1,000 mètres, et dont les parties les plus élevées dépassent rarement 13 à 1,400 mètres. Les actions érosives se sont étendues en rayonnant sur la partie méridionale de la Suède. Ce qui caractérise les stries d'un même système, c'est qu'elles suivent une direction générale à peu près constante, qui n'est point en rapport avec la disposition des plateaux ondulés, mamelonnés, et des dépressions qui les séparent; ces plateaux présentent une série de toits à pentes opposées, tantôt ascendantes et tantôt descendantes, dont les arêtes ont été franchies tantôt obliquement, tantôt perpendiculairement, et l'inclinaison moyenne de la surface passant par toutes ces arêtes est seulement de quelques minutes pour la Suède, et pour la Finlande elle est nulle.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, séance du 4^{er} décembre 1845

*Différences entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie
et ceux des Alpes ou des Pyrénées.*

Ainsi cette allure générale des stries les distingue complètement de celles qui ont été tracées sur les roches alpines ; d'ailleurs un autre caractère fort important consiste dans le croisement de plusieurs systèmes sulcateurs sous des angles plus ou moins grands, et quelquefois voisins de 90°. Dans les Alpes, on voit souvent des stries se croiser sous des angles de 15 à 25°, mais pas plus ; tandis que nous avons cité de nombreux exemples de croisements sous des angles de 70 à 80 et 90°. Nous avons vu aussi qu'outre les sulcatures parties des plates-formes élevées qui séparent la Suède de la Norvège, il en est qui ont été tracées par des agents érosifs marchant à peu près parallèlement au littoral, et par des agents s'avancant de la mer vers la terre ferme. En outre, le développement des actions erratiques dans les Alpes est en rapport avec la distribution des hautes cimes et les ramifications des grandes vallées qui s'étendent jusqu'à leur pied ; ainsi c'est dans la vallée du Rhône, qui communique avec les massifs rocheux les plus élevés et sur la partie du Jura placée en regard, que le phénomène erratique se montre sur la plus grande échelle, que les blocs sont les plus abondants, réunis par groupes considérables, et offrant les dimensions les plus gigantesques. Dans le nord de l'Europe, on n'observe aucun caractère qui corresponde à celui-là, et nous avons même vu que dans le fond des vallées profondes aboutissant aux cimes élevées, les effets erratiques sont beaucoup moins prononcés qu'à la surface des collines et des plateaux ondulés de la Suède et de la Finlande. Ainsi ces phénomènes sont beaucoup plus compliqués qu'on ne le croit, et une théorie conforme à la nature devra rendre raison de ces caractères qui leur sont essentiellement propres.

*Caractères généraux des dépôts de transport dans les vallées
des Alpes et des Pyrénées.*

Les dépôts formés pendant la période diluvienne dans le fond des vallées des Alpes et des Pyrénées, ou dans les bassins qui s'étendent au pied de ces montagnes, ont été décrits par beaucoup d'observateurs ; aussi je m'étendrai peu sur ce sujet. On peut distinguer ces dépôts en deux sortes : 1° les *amas confus* formés de débris de toutes grosseurs, entassés pêle-mêle et habituellement anguleux, et les dépôts, grossièrement stratifiés, terminés en gé-

néral par des surfaces horizontales, et ayant la forme de terrasses; on y trouve des matériaux divers, moins gros que ceux des amas confus, mélangés d'une plus grande quantité de sable et de graviers, présentant souvent un commencement de triage, et distribués par zones; ils sont presque toujours usés par le frottement et imparfaitement arrondis. On y trouve quelquefois de très gros fragments, surtout à la surface, et alors ils sont anguleux. Les amas confus se voient habituellement sur le flanc des montagnes, dans les ravins, dans les vallées étroites et dans le fond des grandes vallées lorsqu'elles se resserrent. C'est, au contraire, dans les parties où elles offrent une largeur un peu grande que se développent les dépôts disposés en terrasses horizontales; c'est alors qu'il y a accroissement dans la fertilité du sol et dans l'étendue de terrain cultivable. D'ailleurs les terrasses sont, en général, beaucoup plus développées et plus régulières dans les parties inférieures des vallées que dans les parties supérieures. Quelquefois il arrive que les dépôts en forme de terrasses sont remplacés tout d'un coup par une accumulation confuse de gros blocs, de petits fragments et de graviers; c'est dans le cas où les vallées se rétrécissent brusquement: ainsi dans la vallée de Bagnes, depuis le bourg de Bagnes jusqu'à Branchies, le dépôt détritique offre quelques indices d'une disposition grossièrement stratifiée, et présente des terrasses à différentes hauteurs, mais un peu après la jonction avec la vallée de la *Dranse*, qui descend du Saint-Bernard, les flancs de la vallée se resserrent et forment un défilé qui a dû être comblé par un entassement confus de débris de toutes grosseurs, amenés des deux vallées; on y voit une grande quantité d'énormes blocs de granite du Val-Ferret. Souvent ces amas ont comblé le fond des vallées jusqu'à une grande élévation, et ils ont formé comme des digues, à travers lesquelles les torrents ont creusé leur lit à une époque plus récente. Dans beaucoup d'amas confus situés sur le flanc des montagnes ou dans des ravins, on voit un mélange de fragments arrachés sur place ou détachés des crêtes situées au-dessus, et de fragments apportés de plus loin; très souvent ce sont les premiers qui en forment la majeure partie.

Les caractères de ces dépôts de transport sont quelquefois difficiles à discerner lorsqu'ils ont été remaniés par des courants plus modernes, et qu'ils ont été recouverts de nouveaux dépôts. Dans les parties inférieures des vallées, à une certaine distance du centre de la chaîne, les caractères de stratification sont tellement bien marqués, qu'il est impossible de méconnaître leur origine sédimentaire; mais dans les parties supérieures des vallées, il y a sou-

vent un passage des dépôts grossièrement stratifiés et en forme de terrasses, aux amas confus de matériaux anguleux de dimensions très diverses. Quelquefois le dépôt de transport, composé de sable, graviers, cailloux et blocs, offre des piédestaux cylindriques, couronnés par des blocs et des cônes très réguliers, comme on le voit dans la figure 11, dessinée près Villevieille de Queyras (Hautes-Alpes) ; c'est un effet de l'action des eaux pluviales ; dans les parties où il n'y a pas de blocs, cette action donne naissance à des pyramides ; mais dans les parties où il y a des blocs, ceux-ci préservent le dépôt situé au-dessous, et il prend alors la forme d'un piédestal.

Disposition des blocs erratiques.

La disposition des blocs erratiques dans les Alpes, soit qu'ils se trouvent disséminés, soit qu'ils forment des groupes, a été très bien décrite par de Saussure, de Buch, de Luc, et plus récemment par M. de Charpentier. Les gros blocs sont ordinairement très nombreux dans les accumulations de débris qui ont comblé le fond des vallées dans leurs parties étroites ; ailleurs on les voit disséminés sur le fond des vallées, ou sur la pente des montagnes qui les bordent ; généralement, ils sont réunis par groupes qui ressemblent beaucoup aux amas de blocs que l'on trouve sur le penchant ou sur le haut des collines en Scandinavie, dans le nord de l'Allemagne ou de la Russie ; un des traits particuliers de ces groupes, soit dans les Alpes, soit dans le nord de l'Europe, c'est que plusieurs blocs paraissent être tombés les uns sur les autres et s'être brisés dans leur chute. Plusieurs de ces groupes, tels que celui de Monthey, forment de petites bandes allongées, à peu près horizontales, déposées sur l'un des côtés de la vallée ; d'autres, au contraire, couvrent sur toute son étendue le flanc d'une montagne. Ces deux manières d'être, et principalement la dernière, se voient très fréquemment, non seulement dans les Alpes, mais aussi dans les Vosges et dans les Pyrénées. En général, ces amas ne sont point reliés ensemble de manière à former une ligne continue, ils sont le plus souvent séparés les uns des autres.

Les dépôts de blocs que j'ai vus dans les Vosges offrent les mêmes caractères que ceux des Alpes ; il n'y a de différence que dans la distance à laquelle s'est effectué le transport de très gros fragments ; elle est beaucoup moindre dans les Vosges et ne m'a pas paru dépasser une dizaine de lieues.

Sur les dépôts de transport dans les Pyrénées.

Les dépôts de transport des Pyrénées offrent la même disposition que ceux des Alpes et des Vosges ; on y voit des entassements confus et des dépôts grossièrement stratifiés, semblables aux terrasses de la vallée de la Moselle, de celle du Rhône, du Rhin, etc. ; ils présentent des indices de stratification d'autant plus visibles qu'ils sont plus éloignés de l'axe de la chaîne. Ainsi il y a de magnifiques terrasses dans la vallée de la Garonne à partir de Saint-Bertrand-de-Comminges, dans celle de l'Ariège à partir de Tarascon, et aussi sur le versant espagnol des Pyrénées, dans les vallées de la Segre, de l'Essera, etc. La plaine de Puycerda est assez remarquable, elle est formée de cailloux roulés, et dans le diluvium pyrénéen elle représente l'équivalent de la Crau dans le diluvium alpin, mais comme le dépôt des cailloux s'est fait beaucoup plus près de l'axe de la chaîne, ils sont plus gros et moins bien roulés. L'espace qu'ils recouvrent a été nivelé et a formé une plaine unie que l'on est étonné de rencontrer au milieu d'une région montagneuse.

Le dépôt diluvien que l'on voit près de Foix est stratifié, renferme de très gros cailloux roulés et de petits blocs de granite d'environ 1 mètre de largeur ; il ne s'élève pas à plus de 50 mètres au-dessus du niveau actuel de l'Ariège ; on voit à sa surface, dans la plaine de Montgaillard des blocs erratiques de granite ayant jusqu'à 25 mètres cubes. Dans les Pyrénées, le dépôt de transport forme souvent des brèches à ciment calcaire ; elles se produisent encore maintenant dans les lieux où les débris erratiques de roches primitives ont été déposés sur des terrains calcaires, ou renferment des fragments calcaires ; ils sont alors pénétrés par des infiltrations d'eau contenant en dissolution du carbonate de chaux qui cimente la masse, et la fait passer à l'état de brèche ou de poudingue.

Blocs erratiques dans les Pyrénées.

Dans les vallées pyrénéennes les blocs erratiques les plus abondants sont formés de granite, il y en a quelques uns d'ophite, de roches porphyriques et de quartzite ; mais il est plus rare de trouver de gros blocs de roche calcaire ou schisteuse ; j'en ai observé dans toutes les grandes vallées et sur les flancs de rochers qui les bordent, soit sur le versant espagnol, soit sur le versant français ; mais en général les gros blocs anguleux me paraissent ne point

avoir pénétré dans les plaines qui s'étendent au pied des Pyrénées; la plupart se sont arrêtés avant l'embouchure des grandes vallées dans ces plaines, et même il en est peu qui se soient avancés jusqu'aux dernières collines de terrain crétacé et tertiaire qui forment les contreforts des Pyrénées; ainsi dans la vallée d'Ossau les blocs détachés soit du pic du Midi, soit des flancs de la vallée, ne s'avancent pas beaucoup au-delà d'Arudi, et je n'en ai point observé dans la plaine de Pau. Les blocs détachés des hautes cimes qui dominent Barèges, Gèdres, Gavarni, Cauterets, ont été déposés dans le bassin d'Argelez, ou un peu auparavant; beaucoup d'entre eux se sont arrêtés dans les parties supérieures des vallées. Dans la vallée de la Garonne, on n'en trouve plus au-delà de la Broquère, et dans celle de l'Ariège au-delà de Saverdun. Dans celle de la Têt, on en remarque jusqu'à une assez grande distance de son origine; ce qui paraît tenir à ce que les flancs de cette vallée sont formés de montagnes granitiques d'une assez grande élévation jusqu'auprès de son embouchure dans la plaine du Roussillon; mais je n'ai pas remarqué de blocs erratiques dans le grand bassin qui forme l'ancien Delta de la Têt, et dont Perpignan occupe le centre. En général, on en rencontre beaucoup plus loin dans les parties inférieures des vallées lorsqu'elles sont flanquées de hautes montagnes. Parmi les blocs erratiques qui ont parcouru la plus grande distance, on peut citer ceux que l'on trouve dans la vallée de la Garonne près de Saint-Bertrand-de-Comminge et la Broquère. Là, on en voit quelques uns de granite à gros cristaux de feldspath, semblables à celui qui constitue le massif du port d'Oo; ils doivent avoir fait un chemin d'une douzaine de lieues.

Les agglomérations de blocs les plus abondantes se trouvent vers les hautes régions des vallées, et j'ai observé que les grands quartiers de roche, partis de chaque vallée latérale, ne s'étendent pas beaucoup au-delà de sa jonction avec la vallée principale; ainsi les amas de blocs granitiques sont très multipliés sur les montagnes calcaires de la vallée de Vicdessos, sur celles de Rancié, de Miglos, de Gourbit, de Rabat, etc. Il y a une foule de vallées secondaires où l'on voit de très grands amas de blocs; mais dans les grandes vallées, on ne voit guère d'amas partis des vallées latérales que près de leur jonction; car c'est souvent à cet endroit que s'est arrêté le convoi parti de ces vallées, ou bien encore aux points de courbure des vallées, et ils sont placés habituellement sur le côté qui devait opposer comme une barrière au mouvement du convoi; cette observation a été faite aussi par M. de Collegno.

En général , il m'a paru que la plus grande masse des gros blocs livrés au transport n'a pu être emportée fort loin , et qu'elle a été déposée en majeure partie avant d'avoir parcouru une longue distance , et que ce sont des débris de cette masse qui ont été entraînés vers les parties inférieures des vallées. Le diluvium pyrénéen offre encore une circonstance remarquable , c'est la présence de détritiques erratiques, de cailloux roulés primitifs , de sable et de graviers à l'intérieur des grottes que présentent des rochers calcaires à une élévation de 50 à 100 mètres au-dessus du fond des vallées , ainsi dans les grottes d'Ussat , vallée de l'Ariège et dans celles de Niaux , vallée du Vicdessos ; ces fragments roulés n'ont pu y être introduits que par des courants d'eau qui devaient s'élever à une grande hauteur au-dessus du fond des vallées , et qui devaient être animés d'une grande vitesse pour tenir des cailloux en suspension à un pareil niveau.

Comparaison des dépôts de transport du nord de l'Europe avec ceux des Alpes et des Pyrénées.

La presque totalité des dépôts de transport du nord de l'Europe se rattache à l'espèce de dépôts que nous avons désignée sous le nom de dépôts grossièrement stratifiés, vu qu'ils présentent des indices fréquents de stratification, et que la plupart des matériaux qui les forment sont usés ou arrondis, et que les sables et les graviers y sont en général prédominants. C'est seulement dans les régions élevées et accidentées, situées en Norvège, ou à la séparation de la Norvège et de la Suède, que l'on trouve sur le flanc des montagnes, dans les ravins et dans le haut de quelques vallées des entassements de débris anguleux , qui ressemblent aux amas confus des Alpes et des Pyrénées. D'ailleurs ces amas , que les glaciologistes considèrent comme les témoins du grand développement des anciens glaciers, ont peu d'étendue , ne se prolongent pas sur les plateaux mamelonnés de la Suède ni en Finlande. Nous avons vu qu'il y a dans ces deux pays des âsars en forme de terrasses : mais ils diffèrent des terrasses des Alpes et des Pyrénées en ce qu'ils ne sont point adossés aux flancs des vallées , reposent sur des plaines unies, et ne présentent pas de gradins ; mais dans les vallées norvégiennes, encaissées entre des flancs continus, nous avons vu qu'il y a des terrasses semblables à celles du Rhin , du Rhône, de la Garonne , de l'Ariège, etc. D'ailleurs, dans le centre de l'Europe , les dépôts de transport offrent rarement la même disposition que les âsars diluviens de la Suède ; cependant on observe quelquefois

dans les larges vallées des Alpes, surtout près de leur extrémité, dans les plaines ou les bassins où elles se terminent, des collines de débris allongées et aplaties par le haut qui ressemblent aux âsars; ainsi la Serra du Piémont en offre un bel exemple.

Difficultés que présente l'explication des phénomènes erratiques des Alpes et des Pyrénées d'après la théorie glaciaire.

Les objections que nous avons faites à la théorie dans laquelle on suppose l'envahissement de la Suède, de la Finlande et des contrées situées au midi de la Baltique par d'immenses glaciers, peuvent aussi s'appliquer aux Alpes, mais avec un degré moindre d'évidence. M. Elie de Beaumont a déjà fait voir (1), en comparant les pentes de la limite supérieure du terrain erratique de la vallée du Rhône avec celles des glaciers actuels et des cours d'eau, que les premières sont intermédiaires entre les deux autres, qu'elles sont beaucoup plus faibles que celles des glaciers, mais incomparablement plus grandes que celles des rivières les plus rapides, et qu'elles représentent l'inclinaison de torrents d'une extrême violence.

Si l'on compare l'immense développement qu'auraient dû avoir dans les Alpes les glaciers diluviens avec ce qui a lieu dans les régions polaires, qui possèdent une température moyenne de -15° , il paraît difficile d'admettre une extension aussi considérable que l'exige la théorie des glacialistes. Les traces d'usure, de polissage, et les dépôts erratiques s'observent dans toutes les vallées alpines, et sur les pentes des montagnes au-dessous de certaines limites de hauteur; ainsi toute cette région aurait été couverte par des glaciers qui se seraient étendus sur la basse Suisse, sur une grande partie du Jura, et qui auraient envahi le nord de l'Italie jusqu'à la vallée du Pô, car on observe des érosions jusqu'à l'embouchure des vallées alpines, dans les plaines de la Lombardie et du Piémont (ainsi dans la vallée d'Aoste, près Ivree). Cependant, même dans la partie septentrionale du Spitzberg, où la température se maintient pendant peu de temps au-dessus de zéro, il y a de très grandes étendues de terrain dépouillées de neige et de glace, et les pentes exposées au midi offrent plus rarement des glaciers que celles exposées au nord; on n'en voit point sur les îles qui bordent le littoral; si l'on examine des vues de côtes du Gröenland ou de la nouvelle Zemble, on reconnaît qu'il s'y trouve de grands es-

(1) *Annales des sciences géologiques de M. Rivière*, 1842.

paces sans glaciers ni sans neiges : on a donc de la peine à se représenter des glaciers directement exposés au midi, descendant jusque dans le bassin du Pô, à une hauteur peu considérable au-dessus de la mer. Je pense que l'on s'exagère l'influence des climats humides pour favoriser le développement des glaciers : cette influence est réelle, mais moindre qu'on ne le suppose ; ainsi sur les régions littorales du nord de la Norvège, de l'Islande, et sur les îles de l'océan glacial, qui offrent les types les mieux caractérisés des climats humides, on n'observe pas un développement d'effets glaciaires semblable à celui qui aurait eu lieu dans les Alpes lors de la période diluvienne.

On sait que sur le flanc méridional du Jura les blocs erratiques amenés le long de la vallée du Rhône se sont déposés depuis Gex jusqu'à Bienne : si l'on réfléchit à la grande étendue en largeur occupée par ce dépôt, il paraît peu probable que ce soit la moraine frontale du glacier que l'on suppose avoir rempli la vallée du Rhône. En effet, avant de déboucher dans la plaine suisse, ce glacier n'aurait eu que deux lieues de largeur au plus, tandis que sur la pente du Jura sa largeur eût été de plus de 30 lieues ; ainsi depuis Villeneuve jusqu'à la montagne de Chasseron, sur une distance d'à peu près 15 lieues, il se serait élargi de plus de 28 lieues. Je pense que les glaciers sont susceptibles de s'étendre un peu lorsque leur lit vient à s'élargir ; mais lors même qu'on les considère comme des masses douées de viscosité ou de plasticité, il paraît difficile d'admettre qu'ils puissent subir une pareille expansion.

Si l'on examine l'élévation du terrain erratique au-dessus du fond de la vallée du Rhône, on remarquera qu'elle diminue très peu depuis l'origine de cette vallée jusqu'à son embouchure dans le bassin du lac de Genève, et là où il y a une diminution de hauteur, elle paraît tenir principalement à l'élargissement de la vallée ; ainsi, d'après M. de Charpentier, dans les environs de Bex et d'Aernen, la limite supérieure du terrain erratique est à environ 2,800 pieds au-dessus du Rhône ; depuis Brieg jusqu'au-dessous de Martigny (partie large), elle est à 2,500 pieds ; mais entre Martigny et Saint-Maurice, où la vallée se resserre, la limite s'élève jusqu'à 3,000 pieds, et, depuis là, l'élargissement qui a lieu la maintient à 2,300 pieds jusqu'à l'entrée dans la Basse-Suisse. L'épaisseur du glacier, supposé avoir produit le terrain erratique, aurait donc varié en raison des élargissements et rétrécissements de la vallée, mais elle n'aurait éprouvé qu'une faible diminution sur un parcours de 134 kilomètres, qui, en supposant un avancement de 200 mètres par an, aurait exigé un laps de temps de 670 ans.

Ce fait a lieu d'étonner quand on voit les glaciers actuels, même à une élévation de 6 à 7,000 pieds, éprouver chaque année, à leur surface supérieure, une ablation de plusieurs mètres; cette destruction superficielle est loin d'être compensée par l'accroissement que peuvent éprouver les glaciers à l'intérieur, par la congélation de l'eau qui s'y infiltre; elle augmente à mesure que les glaciers descendent dans des zones atmosphériques de plus en plus chaudes, et les maintient dans leurs limites actuelles. Pour que l'ablation des glaciers diluviens ait été très minime et ait pu être compensée par l'accroissement provenant de la congélation à l'intérieur, il aurait fallu qu'à cette époque le climat fût peu différent de celui qui existe aujourd'hui dans la zone des neiges permanentes; mais il est remarquable que sur le Chasseron (versant méridional du Jura) le dépôt des blocs erratiques s'élève, d'après les mesures de M. de Buch, jusqu'à 3 100 pieds au-dessus de la plaine suisse, tandis qu'à Villeneuve il ne s'élève qu'à 2,300 pieds au-dessus du Rhône; il faudrait donc qu'en traversant la plaine il eût éprouvé une augmentation d'épaisseur de 800 pieds, malgré son énorme élargissement, ou bien qu'il eût remonté sur la pente du Jura, conséquences difficiles à admettre si les glaciers se meuvent sous l'action de la gravité, comme le démontrent les expériences de M. Forbes.

Considérations comparatives sur les théories glaciaire et diluvienne.

Néanmoins, il faut reconnaître à la théorie glaciaire un avantage incontestable, celui de faire intervenir des agents qui produisent encore de nos jours, mais sur une échelle beaucoup plus petite, des effets analogues à ceux qui ont eu lieu anciennement, et c'est cet avantage qui lui a conquis beaucoup de partisans dans ces dernières années, tandis que, dans la théorie diluvienne, les causes que l'on suppose avoir été en jeu ne fonctionnent pas aujourd'hui dans les mêmes conditions qu'autrefois, et, par suite, elles ne produisent pas sous nos yeux des effets tout-à-fait semblables à ceux du phénomène erratique; ainsi on n'a pas observé que l'eau des rivières produisit des érosions en forme de stries fines, lors même qu'elle entraîne avec elle des sables et des graviers; il est effectivement peu probable que des grains de sable disséminés dans un courant d'eau puissent entamer la surface de roches très dures et y creuser des cannelures rectilignes; mais si une masse énorme de détritits, formant un courant boueux d'une grande épaisseur, est entraînée avec rapidité, elle exercera un frottement

considérable à la surface des rochers, et sera susceptible de l'éroder de même que les glaciers. Cette supposition de courants très puissants, qui a été admise depuis Saussure jusqu'à cette époque, présente des difficultés véritables; elle implique des conditions que ne peut réaliser l'état de repos où se trouve actuellement notre globe: elle exige un cataclysme, tandis que les conditions de la théorie glaciaire paraissent être plus simples et se réduire à un changement de climat. Mais si l'on examine les contrées boréales qui sont soumises à un très grand froid et entourées d'une atmosphère très humide, on n'y remarque pas un développement d'actions glaciaires qui justifient les exigences de la théorie, surtout en ce qui concerne les phénomènes erratiques de la Scandinavie. Un abaissement de plusieurs degrés dans la température moyenne pourra produire, dans les Alpes et dans la Scandinavie, des effets analogues à ceux qui ont lieu au Gröenland ou au Spitzberg, mais elle ne pourra déterminer le développement et le mouvement des glaciers dans des conditions autres que celles où ils ont lieu aujourd'hui. Un des points essentiels de la question consiste donc à rechercher si ces conditions coïncident avec celles où s'est produit le phénomène erratique, et jusqu'à présent les données que l'on possède à cet égard ne me paraissent pas être à l'avantage des glacialistes.

*Remarques sur le Mémoire de M. Durocher, intitulé :
« Études sur les phénomènes erratiques de la Scandinavie, »
par Ch. Martins.*

Lorsque M. Durocher publia son premier mémoire sur le terrain erratique de la Scandinavie (1), j'eus l'honneur de faire remarquer à la Société combien les faits observés par ce voyageur s'expliquent aisément, en supposant une ancienne extension des glaciers de la Suède et de la Norvège (2). Il en est de même de celui-ci, dans lequel l'auteur est obligé de se borner à raconter ce qu'il a vu, renonçant à expliquer la plupart des phénomènes géologiques qu'il signale par l'hypothèse des courants diluviens.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, p. 45. — 1845.

(2) *Ibid.*, p. 102.

Direction des stries.

Le nouveau mémoire de M. Durocher commence par l'étude de la direction des stries dans le midi de la Scandinavie. Il donne une carte de ces directions variées dans laquelle il comble quelques lacunes laissées par MM. Seftstroem (1), Boethling (2), Siljestroem (3) et Keilhau (4). Mais ces lacunes sont peu nombreuses, et en réunissant les trois cartes dont nous venons de parler, il serait facile de reconstruire celle de M. Durocher.

Le résultat général des nouvelles recherches de l'auteur, c'est que les directions des stries ne sont point parallèles, ni dans les différentes provinces de la péninsule ni même dans une localité très circonscrite ; mais qu'elles font souvent entre elles, soit dans la même contrée, soit dans des provinces fort éloignées, des angles plus ou moins ouverts. MM. Siljestroem et Keilhau étaient déjà arrivés au même résultat, sans en chercher l'explication. M. Durocher l'a essayé ; mais embarrassé de la multiplicité de ces directions, il s'efforce d'abord de les ramener à plusieurs systèmes ou groupes différents. Ainsi, par exemple (5), aux environs de Christiania et du lac Miosen, il constate que la plupart des stries ont une certaine orientation. Autour d'Areskutan, à 380 kilomètres, au nord, il en retrouve d'autres à peu près parallèles aux premières, et sans avoir visité la région intermédiaire, sans tenir compte des stries qui dans ces contrées forment des angles considérables avec celles qu'il a choisies, il en conclut qu'un même système sulcateur

(1) Untersuchung über die auf den Felsen Scandinaviens in bestimmter Richtung vorhandenen Furchen. *Annales de physique de Poggendorff*, t. XLIII, p. 533. 1838. Avec une carte de la direction de ces stries dans toute la Suède méridionale, du 56° au 64° degré de latitude.

(2) Ueber die diluvial Schrammen in Finnland. *Annales de physique de Poggendorff*, t. LII, p. 644. 1844. Avec une carte de l'orientation des stries en Finlande.

(3) *Voyages en Scandinavie de la Commission du Nord. — Géographie physique*. T. I, p. 493, avec une carte de toute la Scandinavie, et la direction moyenne des stries en Norvège, tracée par M. Bravais, d'après les indications de l'auteur.

(4) Reise fra Christiania til den oestlige Deel af Christiansands stift i sommeren 1840. *Nouveau magasin pour les sciences naturelles de Christiania*, t. III, p. 469. 1841-1842. Avec une carte présentant l'orientation des stries dans la partie occidentale du golfe de Christiania.

(5) Voyez dans ce volume la carte de M. Durocher.

(c'est l'expression qu'il emploie) s'étendait jadis du 63° au 59° degré de latitude, et marchait du nord vers le sud de la Norvège. L'auteur agit de même pour les stries qui présentent une orientation semblable à Gefle, sur le bord du golfe de Bottnie et aux environs de Gothenbourg, ville située sur la mer du Nord. Ce mode de procéder me semble tout-à-fait arbitraire; car on pourrait tout aussi facilement former d'autres groupes complètement différents des premiers, et qui ne reposeraient pas sur des bases plus réelles. Pourquoi, par exemple, ne pas considérer, comme faisant partie d'un même système, les stries dirigées du N.-N.-O. au S.-S.-E. dans les environs d'Areskutan, en Norvège, et les stries, orientées dans le même sens, qui couvrent la Finlande? Afin de justifier l'établissement de ces divers groupes, il aurait fallu prouver préalablement que les stries orientées de la même manière sont l'effet d'un agent unique, non discontinu, tel qu'un courant ou toute autre masse capable de laisser des traces de son passage; or, c'est ce que M. Durocher n'a point fait. Ajoutons qu'il ne se laisse pas arrêter par les directions des stries qui viennent couper ses différents groupes sous des angles plus ou moins ouverts. Ainsi le prolongement du grand système dirigé du N.-N.-O. au S.-S.-E. du lac d'Oestersund au lac Maelar près de Stockholm, c'est-à-dire du 63° au 59° degré de latitude, est à angle droit avec la direction des stries de l'île de Gottland. Les stries dirigées du N. au S. dans le midi de la Suède sont coupées sous un angle de 45° par celles des environs de Cimbrishamn. En outre, M. Durocher laisse en dehors de ses dix systèmes d'érosions, toutes les stries dont la direction ne s'y rattache pas commodément; celles, par exemple, qui rayonnent autour des groupes des montagnes du Suletiinten, au fond du Sognefiord; celles des environs du Sneehaetten, d'Ekeshjoe, de Wexioe, de Carlskrona, de Cimbrishamn, de l'île de Gottland, etc.; et malgré toutes ces licences, quand il s'agit de conclure, l'auteur reste muet devant la puissance des faits qui lui démontrent que ce n'est pas l'eau qui a buriné les stries dont il s'occupe: car il faudrait admettre dix courants parfaitement rectilignes qui se seraient dirigés simultanément ou successivement vers les quatre points cardinaux, sans se dévier de leur direction en ligne droite; supposition inadmissible et contraire à tout ce que nous savons des lois qui régissent les cours d'eau, quels que soient leur violence et leur volume.

L'ancienne extension des glaciers scandinaves explique facilement les directions variées qu'affectent les stries dans les diffé-

rentes régions de la péninsule. Leur parallélisme serait même une objection sans réplique contre l'hypothèse glacialiste. Examinons d'abord ce phénomène en Suisse, où il a été étudié avec le plus de soin et par des hommes qui ont une connaissance approfondie de la marche et des effets produits par les glaciers actuels. En Suisse comme en Suède, les stries affectent les directions les plus variées ; il est facile de s'en rendre compte. La plaine qui sépare les Alpes du Jura était autrefois remplie par des glaciers qui débouchaient par les principaux bassins des rivières, dont la source est dans les Alpes : l'Arve, le Rhône, l'Aar, la Reuss, la Limmat et le Rhin. Mais chacun de ces glaciers, charriant les espèces de roches qui le caractérisent, avait une direction différente : ainsi, tandis que le glacier du Rhône traçait dans le Valais, entre Sion et Martigny, des stries dirigées de l'E.-N. E. à l'O.-S.-O., l'ancien glacier du Rhin antérieur nivelait dans la direction du S.-O. au N.-E. les roches moutonnées qui portent les ruines de la Baerenburg, près d'Andeer dans les Grisons, et le glacier du Val-Montjoie rayait dans la direction du S.-S.-E. au N.-N.-O. les roches polies des environs de Nant-Bourant, au pied du col du Bonhomme. Il y a plus ; la direction des stries gravées par un glacier n'est pas la même dans les différents points de son parcours. Aux environs de Saint-Maurice, par exemple, le glacier du Rhône a laissé sur le calcaire des stries orientées du S.-E. au N.-O., tandis qu'au-dessus de Vevay, la gompholite est striée presque dans la direction de l'E. à l'O. Celui de l'Arve a buriné, à l'issue de la vallée de Chamonix, en face du village des Ouches, des stries dirigées de l'E.-S.-E. à l'O.-N.-O., tandis qu'en sortant de la vallée on trouve, au-dessus de la gorge des Montets, des sillons de plusieurs mètres de longueur dont la direction est du S.-S.-E. au N.-N.-O. De plus, les stries tracées par l'affluent d'un glacier, viennent souvent couper sous des angles très grands les stries gravées par le glacier principal. Ainsi, le glacier d'Argentièrre qui débouchait par le col de Salvent dans celui du Rhône, a laissé, comme traces de son passage, des stries presque perpendiculaires à celles de ce dernier. Les sillons de la vallée d'Urbach coupent ceux de la vallée de Hasli, etc., etc.

Je pourrais multiplier ces citations ; je préfère emprunter quelques exemples aux glaciers actuels, afin de prévenir l'objection de quelques adversaires de l'ancienne extension des glaciers de la Suisse, qui, malgré l'identité des effets, nieraient l'origine glaciérique des stries qui se trouvent dans la plaine comprise entre les Alpes et le Jura. Imaginons un instant que le glacier de l'Aar ou

la mer de glace de Chamonix viennent à disparaître. On trouvera dans la vallée qu'ils occupaient, des stries longitudinales tracées par le glacier principal, et des stries transversales burinées par les glaciers affluents qui couperont les premières sous des angles plus ou moins aigus. On verra des stries ascendantes au rétrécissement des vallées, des stries croisées au point de rencontre de deux glaciers; en un mot, tout ce qui existe sur une plus vaste échelle dans la plaine suisse et en Scandinavie. Les phénomènes et l'explication seront les mêmes, seulement ils s'appliqueront à une plus grande surface de pays.

Ainsi, dans les plaines de la Suisse comme dans celles de la Scandinavie, les stries affectent des directions variées; or, en Suède comme en Helvétie, ces stries sont identiques en tout point à celles que burinent les glaciers actuels, différentes en tout point des canaux sinueux creusés par les eaux; or je ne crois pas qu'en bonne logique on puisse attribuer à un agent des effets identiques à ceux qu'un agent complètement différent produit tous les jours sous nos yeux.

Pour achever de prouver combien la méthode de M. Durocher est arbitraire et féconde en conséquences erronées, appliquons-la un instant à la Suisse. Un observateur trouve sur le bord méridional du lac de Brienz des stries dirigées du N.-E. au S.-O. : dans le Valais, il rencontre des stries ayant à peu près la même direction, qu'il retrouve encore dans la vallée de Chamonix, entre le Prieuré et le village des Ouches. Mettant en pratique les principes de M. Durocher, il réunit toutes ces stries, dont l'orientation est la même, et en fait un système d'érosion qui, de l'Oberland, passe par-dessus la haute chaîne des Alpes bernoises, traverse le col de Balme, et s'étend jusqu'au pied du Mont-Blanc, tandis qu'en réalité ces stries appartiennent à trois glaciers différents : celui de l'Aar, celui du Rhône et celui de l'Arve, qui n'avaient rien de commun entre eux, sinon que dans un point de leur parcours leurs directions étaient parallèles. Le même observateur sera forcé, pour être conséquent avec lui-même, de considérer comme faisant partie d'un seul système d'érosion les stries orientées de la même manière dans les Alpes, les Vosges et les Pyrénées, sur un espace embrassant quatre degrés latitudinaux comme celui que comprennent plusieurs des systèmes de stries de M. Durocher; tandis qu'il est de la dernière évidence que ces stries ont été gravées par des glaciers descendant des montagnes dans les vallées, et non par un agent général allant du nord au midi ou de l'est à l'ouest.

Fidèle à son principe de prendre la direction des stries pour

guide unique dans l'étude du trajet suivi par l'agent qui les a tracées, le même observateur sera forcé d'envisager comme appartenant à des systèmes différents les sillons creusés par un glacier principal, et ceux qui ont été gravés par ses affluents. Dans la vallée occupée par le glacier de l'Aar (1), ce géologue considérera comme faisant partie d'un système les stries dirigées de l'O. à l'E. que ce glacier a burinées sous nos yeux, et comme appartenant à un autre système celles de ses affluents, les glaciers du Thierberg, du Silberberg, du Grünberg et du Zinkenstock, qui viennent couper les premières sous des angles plus ou moins ouverts.

La méthode suivie par M. Durocher me paraît donc vicieuse, soit qu'on l'applique à l'hypothèse des glaciers, soit qu'on veuille la faire servir à celle des courants; car, dans l'une et dans l'autre, on ne saurait prendre l'orientation des stries comme indication unique de la marche suivie par l'agent qui les a tracées, sans avoir égard à tous les autres indices qui peuvent nous faire connaître cette direction. Le problème n'est pas insoluble, puisque M. A. Guyot est parvenu à figurer sur la carte l'espace occupé par les différents glaciers qui couvraient autrefois la plaine comprise entre les Alpes et le Jura. Mais outre la direction des stries, il a eu égard à la nature minéralogique des roches transportées, à leur mode de dispersion, soit à l'état sporadique, soit sous la forme de moraines latérales, médianes ou terminales. Il a suivi ces matériaux depuis leur point de départ dans les Alpes jusqu'à leur point d'arrivée sur le Jura, et il a pu ainsi circonscrire le domaine de chaque glacier avec autant d'exactitude que l'on trace les limites d'une formation superficielle (2).

(1) Voyez le plan du glacier de l'Aar. *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, planche V, fig. 12. — Séance du 2 mars 1846.

(2) Dans son premier Mémoire, M. Durocher avait attribué à des courants diluviens des canaux sinueux, ramifiés et anastomosés entre eux, qu'il avait vus au bord de la mer (1). Dans celui-ci, il signale des contradictions dans les explications que nous en avons données, MM. Agassiz (2), Escher de la Linth (3), P. Schimper (4) et moi (5). Or, tous les quatre, nous avons attribué à l'action de l'EAU les canaux sinueux et anastomosés observés par M. Durocher; seulement, MM. Agassiz et Escher ont considéré les stries gravées *dans l'intérieur* de ces canaux comme des stries de glaciers. M. Schimper les attribue

(1) Voyez la forme de ces canaux sinueux, *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, pl. I, fig. 1, 5 et 8; celle des stries de glaciers, pl. II, fig. 3, 4, 5 et 6.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 155. — 15 décembre 1845.

(3) *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, p. 256. — 19 janvier 1846.

(4) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXII, p. 45. — 5 janvier 1846.

(5) *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, p. 111. — 15 décembre 1845.

Caractères des dépôts de transport dans le nord de l'Europe.

Dans le pays plat, ce terrain se présente tantôt sous l'apparence de vastes dépôts à surface plane, tantôt sous celle de terrasses échelonnées les unes au-dessus des autres, ou sous la forme de levées ou de monticules allongés, connus sous le nom d'osars (*sandosars* des Suédois). Dans les montagnes, il forme des amas irréguliers, sans figure géométrique déterminée. Au lieu de rechercher les signes caractéristiques qui peuvent éclairer sur la nature de ces différents dépôts, M. Durocher se borne à décrire leur forme et celle des matériaux qui les composent, comme si cette forme et la plus ou moins grande proportion de sable, de cailloux, de blocs anguleux ou arrondis, pouvaient seules nous dévoiler leur origine. Dans son premier Mémoire, il semblait séparer les osars des autres terrains de transport, et admettre, d'après les observations de M. Lyell, que leur origine est plus récente. Dans celui-ci, cette distinction n'existe plus, l'auteur ne se préoccupe plus de savoir s'ils contiennent des coquilles et si ces coquilles sont identiques à celles qui vivent actuellement dans les mers voisines, ou bien si elles appartiennent à l'Océan glacial ou à des mers plus chaudes. Jamais il ne fait la moindre allusion à l'absence ou à la présence de ces cailloux frottés et striés (1), qui sont caractéristiques des moraines. Il en résulte que le lecteur, après avoir parcouru ce chapitre, ne saurait se former la moindre idée de la nature et de l'origine de ces dépôts, si différents entre eux. Cependant, déjà avant M. Durocher, les recherches de

à l'action des vagues. Quant à moi, je ne me suis point prononcé sur l'origine de ces stries, qui ne m'étaient connues ni par des échantillons, ni par une description détaillée ou par des dessins fidèles. Aussi, dans ma première réponse, je n'ai point parlé de ces stries, et dans la seconde, je m'exprimais ainsi (6) : « Le reste de l'argumentation de M. Durocher, supposant ce que je n'ai pas dit, savoir, que les stries gravées à l'intérieur des canaux sinueux auraient été burinées par des glaciers, je n'ai point à m'en occuper. » Ainsi, comme on le voit, nous sommes d'accord sur l'origine des canaux sinueux, seulement M. Schimper diffère de MM. Agassiz et Escher dans l'explication d'un détail, les stries de l'intérieur des canaux.

(1) Ces cailloux ont déjà été décrits en 1842 dans l'*Edinburgh new philosophical Journal*, p. 223, et dans la *Bibliothèque universelle*, t. XLI, p. 425.

(6) *Ibid.*, 2^e série, t. III, p. 238.

MM. Hisinger (1), Lyell (2), Keilhau (3), et depuis, celles de MM. Forchhammer (4), Loven et Desor, ont jeté quelque lumière dans ce chaos.

Sous le nom de dépôt de transport, M. Durocher a réuni dans une même dénomination trois terrains bien distincts : 1° les anciennes moraines, qu'il décrit (pag. 64) sous le nom de « dépôts formés dans les ravins de hautes montagnes. » Lui-même reconnaît l'analogie de leur forme avec celle des moraines des glaciers actuels. Malheureusement il ne s'est pas assuré s'ils contenaient des cailloux frottés ou striés. Négatif ou positif, ce caractère était d'une telle importance, que je suis forcé de croire qu'il lui était complètement inconnu; car il aurait dû rechercher ces cailloux avec d'autant plus d'empressement que leur absence eût été une preuve décisive que ces amas ne sont pas des moraines, mais des dépôts uniquement aqueux.

2° Lorsque le dépôt de transport se présente sous forme de surfaces unies ou de terrasses, il offre une stratification imparfaite, et sa forme extérieure accuse l'action des eaux. Mais ces dépôts sont presque entièrement formés de cette couche de boue, de sable et de graviers (*moraine profonde*) qui se trouve à la partie inférieure de tous les glaciers, remaniée postérieurement par les eaux. La preuve en est dans la présence de gros cailloux, ou plutôt de blocs striés par la glace, blocs qui n'existent ni dans la mer, ni dans les lacs, ni dans les torrents; car, non seulement le charriage par l'eau ne strie pas les cailloux, mais il efface les stries, comme on peut s'en assurer dans tous les torrents qui sortent des glaciers de la Suisse.

Pendant le voyage qu'il a fait cet été dans la Scandinavie méridionale, M. Desor a trouvé ces cailloux striés, en Danemarck, dans le terrain de transport à surface plane, à travers lequel passe le chemin de fer de Copenhague à Roeskild, et aux environs de Kioege, sur la côte de Seeland, au sud de la capitale. En Norvège, il les a retrouvés dans le terrain de transport en forme de terrasses de Sorgenfry, près de Christiania, sur la route qui mène de cette ville à Krogleben, et dans les dépôts limoneux des bords de la

(1) *Antekningar i fysik och geognosie*, t. IV.

(2) On the proofs of the gradual rising of the land in certain parts of Sweden. *Philosophical transactions*, 1835; et en français, *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel*, t. I, p. 200.

(3) *Nyt magasin for naturviderskaberne*, t. III, p. 169. 1842.

(4) *The Athenæum*, n° 987, 26 septembre 1846, p. 1003.

Drammen, à son embouchure dans le Drammen-Fiord. En Suède, il a revu ces cailloux striés dans le même terrain, en particulier dans les terrasses limoneuses de Berg, près du lac Wettern.

Ces cailloux striés ne sont pas le seul indice qui dévoile l'origine glaciaire de ces dépôts; ils renferment encore des coquilles marines. Un grand nombre n'ont pas leurs analogues dans les mers voisines: ce sont, suivant M. Lovén, des espèces arctiques reléguées maintenant dans les mers glaciales, mais qui vivaient dans la mer du Nord à l'époque où la côte, en s'abaissant, plongeait dans l'Océan les moraines déjà remaniées par les torrents diluviens, résultant de la fonte des glaciers.

3° Les osars (*sand åsars* des Suédois). Ces monticules aux formes si caractéristiques appartiennent à une époque fort différente de celle du terrain de transport erratique dont nous venons de parler; ils sont une des nombreuses preuves de l'immersion et de l'émergence de la côte scandinave. Déjà MM. Al. Brongniart, Ilisinger et Lyell y avaient reconnu la présence de coquilles vivant actuellement dans la Baltique (*Tellina baltica*, *Cardium edule*, *Mytilus edulis*, *Littorina crassior*, *L. littorea*, *Neretina fluviatilis*), à des hauteurs variant de 9 à 24 mètres au-dessus du niveau du golfe de Bottnie. Ces osars sont donc l'ouvrage de la mer pendant la période d'immersion de la Scandinavie. Ce sont de véritables dunes (*Revoler* des côtes du Jutland) à stratification non horizontale, formées par la lame qui, dans les gros temps, passe par-dessus ces remparts, et y dépose les cailloux et le sable qu'elle a soulevés au fond de la mer (1). Les cailloux qui composent ces osars ne sont jamais striés: ils ne sauraient l'être; car, quand même ils eussent été striés auparavant, leurs stries auraient été bientôt effacées par le frottement qu'ils ont subi en roulant sur le rivage. Les osars sont presque toujours recouverts de blocs erratiques anguleux, et l'opinion la plus probable est celle qui attribue leur transport et leur dépôt à des radeaux de glaces flottantes. Une autre circonstance prouve encore l'origine récente des osars, c'est qu'ils sont superposés quelquefois à des dépôts tourbeux, dont l'origine peut être contemporaine de celle des glaciers, mais ne saurait lui être postérieure. En outre, on y a trouvé des bateaux, une maison enfoncée à la profondeur de 19 mètres, et dont le foyer

(1) Ueber Geschiebebildungen und diluvial Schrammen in Dänemark, von G. Forchammer. *Annales de physique de Poggendorff*, t. LVIII, p. 609. — 1843.

contenait encore du charbon (1). M. Durocher a donc tort de terminer ce chapitre en disant (p. 64) : « Les partisans de l'école glacialiste considèrent ces dépôts comme d'anciennes moraines. » Déjà dans ma première réponse (2) j'avais longuement insisté sur l'action des eaux qui ont remanié les matériaux des moraines, ou les ont entraînés pour former les terrasses et les osars. En Suisse, la débâcle aqueuse, résultat de la fonte des glaciers, a produit des effets analogues; mais en Suède, le phénomène s'est compliqué de l'immersion et de l'émergence successive d'une grande partie du littoral, avant et après l'ancienne extension des glaciers.

Réponse aux objections de M. Durocher contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie.

La péninsule scandinave est un pays mixte composé de montagnes, de vallées et de plaines ondulées. Ce pays n'a pas conservé et ne conserve pas un niveau constant au-dessus de la mer; il a été émergé et immergé une ou plusieurs fois. Il a donc été soumis à des actions très complexes : action des glaciers plus étendus autrefois que de nos jours, action de l'eau résultant de la fusion de ces glaciers, action de la mer à une distance plus ou moins grande de ses rivages actuels. Il serait donc aussi peu logique de tout expliquer par une calotte de glace, que de vouloir rendre compte de tous les faits au moyen d'un ou plusieurs courants diluviens. Or, M. Durocher suppose toujours que les partisans de l'ancienne extension des glaciers attribuent *exclusivement* à l'action de la glace tous les phénomènes erratiques de la Scandinavie. Il se crée ainsi un adversaire commode et facile à combattre. Venons aux faits : l'auteur, supposant, d'après la direction des stries, qu'un même agent a sillonné la Suède depuis le 63 jusqu'au 59° degré de latitude, calcule la pente générale du terrain sur une longueur de 450 kilomètres; il la trouve de deux minutes seulement, et conclut qu'un glacier ne peut pas se mouvoir sur une pente aussi peu inclinée. — Mais l'observation n'a rien décidé à cet égard; le glacier de l'Aar se meut sur un fond dont l'inclinaison est de 1° 30' seulement, et M. Hopkins a prouvé expérimentalement qu'un bloc de glace qui fond par sa partie inférieure glisse sur une pente de

(1) Lyell, On the proofs of a gradual rising of the land in certain parts of Sweden. *Philosophical transactions*, 1835, p. 8.

(2) *Bulletin de la Société géologique*, 1845, p. 122 et suivantes.

40' (1). En faisant cette objection, M. Durocher suppose avec M. Forbes que le mouvement des glaciers n'est autre chose que celui des corps graves (2); s'il avait étudié ce mouvement, il saurait qu'il n'en est pas ainsi. Le glacier de l'Aar se meut sur un fond très inégal d'une pente $1^{\circ} 20'$, pente presque nulle, et sur laquelle un corps solide resterait immobile; car, suivant M. Morin, les deux corps qui glissent le plus facilement l'un sur l'autre sont le cuivre sur du fer graissé; mais le premier ne se met pas en mouvement tant que pente n'atteint pas $4^{\circ} 35'$. Dans un corps grave solide, visqueux ou liquide, l'extrémité inférieure marche avec une vitesse sensiblement égale à celle des parties supérieures. Dans un glacier le mouvement se ralentit vers son extrémité inférieure: ainsi cette année, tandis qu'à la partie moyenne de sa longueur, le glacier de l'Aar avait parcouru 75 mètres en 396 jours, il ne s'était avancé que de 41 mètres près de son extrémité. L'influence de la pente est même si faible sur la marche des glaciers qu'on ne saurait l'assimiler au glissement des corps graves. M. Desor l'a déjà démontré (3); nous l'avons vérifié cet été, M. Dollfus et moi. En effet, pendant que le glacier de Grünberg, un des affluents de celui de l'Aar, avait marché en dix-sept jours de $2^m, 22$, celui-ci s'était avancé de $2^m, 94$; et cependant la surface du premier a une inclinaison de 30° , celle du second une pente de 3° seulement (4).

La deuxième difficulté que M. Durocher élève contre l'ancienne extension des glaciers en Scandinavie, c'est qu'ils n'auraient pu traverser des plans inclinés à pentes opposées. Pour se convaincre que cette objection n'en est pas une, il suffit d'aller en Suisse et d'examiner le profil de quelques glaciers, où l'on voit la roche sur laquelle ils reposent. On reconnaît que tous les glaciers passent par dessus des plans inclinés à pentes opposées. Je me contenterai de citer les glaciers du Rhin postérieur, d'Alalein, de Tschingel, du Grünberg. Les anciens glaciers de la Suisse offrent des exemples encore plus frappants de ce mode de progression; je rappellerai à M. Durocher la succession des collines qu'il a dû voir en descen-

(1) On the motion of glaciers. *Philosophical Magazine*, t. XXVI, p. 4. — 1845.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIII, p. 209. 27 juillet 1846.

(3) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XIX, p. 4303, 9 décembre 1844.

(4) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIII, p. 823, 26 octobre 1846.

dant la vallée de l'Aar, 1^o les deux Baerenbühl, 2^o les groupes de roches moutonnées que l'on traverse en allant du glacier de l'Aar à l'hospice du Grimsel, et qui forment le contrefort du Naegelisgraetli; 3^o la Spitalnollen, 4^o le Kirchet qui sont couverts de tous côtés de stries caractéristiques de l'action des glaciers, identiques en tout à celles que le glacier de l'Aar burine sous nos yeux.

J'ai été étonné, je l'avoue, de trouver parmi les objections contre l'extension des glaciers la remarque suivante : « Dans la contrée d'Areskutan, dit M. Durocher, l'agent erratique a eu nécessairement un mouvement ascensionnel; il est parti d'une contrée plus basse pour monter à 222 mètres plus haut que son point de départ: donc ce n'est pas un glacier qui a gravé les stries d'Areskutan. » Cette difficulté est incontestable; mais il me semble que s'il est difficile d'admettre qu'un glacier puisse s'élever sur une pente, il est encore plus difficile de se figurer un courant diluvien qui remonte son cours; et si l'on était forcé de choisir entre les deux suppositions improbables, il n'est personne qui n'optât pour le glacier. En effet, il n'est pas *démontré* qu'un glacier ne puisse pas remonter une pente en s'appuyant contre un obstacle inférieur, tandis que les eaux ne sauraient se mouvoir contre les lois de la pesanteur. Ainsi donc, cette prétendue objection contre les glaciers n'est qu'un problème local dont M. Durocher n'a pas trouvé la solution. Il en est une cependant que je vais essayer de donner, dans l'intérêt des courants comme dans celui des glaciers. La côte de Norvège est, comme on sait, sujette à des oscillations considérables, et l'on peut affirmer avec confiance qu'à l'époque glaciaire les niveaux relatifs de la mer, de la côte et de l'intérieur des terres n'étaient point ce qu'ils sont aujourd'hui. Partout dans le golfe de Christiania et ailleurs les stries se prolongent sous la mer. Il est donc extrêmement probable qu'à l'époque des glaciers la côte était plus élevée qu'elle ne l'est actuellement. En effet, pour que des glaciers puissent glisser sur le fond de la mer, il faut que sa température soit *constamment* au-dessous de zéro; car, si la température de celle-ci se maintient au-dessus du point de congélation pendant quelques mois de l'année seulement, le glacier surplombe la surface de la mer et ne strie pas son fond. Je crois avoir établi cette vérité dans mes observations sur les glaciers du Spitzberg (1).

(1) *Bibliothèque universelle de Genève*, juillet 1849; *Bulletin de la Société géologique*, séance du 4 mai 1840; et *Edinburgh new philosophical Journal*, t. XXX, p. 284, 1844.

A l'époque glaciaire, la côte était donc probablement plus haute qu'elle ne l'est aujourd'hui, puisqu'il faut la supposer plus élevée pour que toutes les stries soient émergées. Mais depuis elle a subi des oscillations remarquables, témoins les balanes d'Udevalla vues par M. Brongniart (1), à 60 mètres au-dessus de la mer, les serpules fixées sur des roches polies, entre Christiania et Aggersbach (2), et plus que tout cela le banc argileux et coquiller (*Skalenschicht*), décrit par M. Keilhau, et qu'on retrouve jusqu'à la hauteur de 488 mètres au dessus de la mer, et à 12 myriamètres de la côte (3). L'oscillation du littoral de la péninsule est donc un fait mathématiquement démontré. Voyons maintenant si la portion de la côte norvégienne, dont parle M. Durocher, présente des traces de ces changements de niveau. Areskutan est situé sous la même latitude que Drontheim, mais à 10 myriamètres dans l'intérieur des terres. Or, dans le Beistadfiord, situé à 11 myriamètres au nord de Drontheim et d'Areskutan, M. de Buch (4) trouve, à 140 mètres d'élévation, des coquilles marines qu'il considère comme les mêmes que celles du dépôt des environs de Drammen; la plupart vivant actuellement dans les mers du Nord. Ce sont : *Mytilus edulis*, *Cardium edule*, *Mya truncata*, *Venus islandica*, etc. Un peu au sud de Drontheim, à l'entrée du Joergenfiord, par 62° 20' de latitude, M. Keilhau (5) remarque des terrasses qui s'élèvent à 200 mètres au-dessus de l'Océan. Ainsi donc, la côte de Drontheim, qui correspond à la montagne d'Areskutan, a été sujette, comme les autres, à des oscillations considérables, et l'on ne saurait conclure de son relief actuel à celui qu'elle avait à l'époque où les stries ont été burinées.

La difficulté soulevée par M. Durocher n'est donc pas insoluble, et tous ses calculs sur le mouvement ascendant du glacier sont sans fondement, puisqu'il est à peu près démontré qu'à

(1) Notice sur les blocs de roches des terrains de transport. (*Annales des sciences naturelles*, t. XIV, 1828.)

(2) Scheerer, Beytraege zur Kenntniss des Seftstroem'schen Frictions phenomen. (*Annales de physique de Poggendorff*, 3^e série, t. VI, 1844.)

(3) Daubrée, Note sur le phénomène erratique du Nord de l'Europe. *Bulletin de la Société géologique*, t. XIV, p. 574, 19 juin 1843.

(4) *Reise durch Norwegen und Lappland*, t. I, 254.

(5) *Nyt Magazin for Naturviderskaberne*, 1837, p. 220; et Bravais, Sur les lignes d'ancien niveau de la mer dans le Finmarck. (*Voyages de la Commission du Nord en Scandinavie. — Géographie physique*, t. I, p. 117.)

l'époque glaciaire, les niveaux relatifs de la mer, de la côte et de l'intérieur des terres n'étaient point ce qu'ils sont aujourd'hui. Reste à vérifier si la direction moyenne des stries est réellement celle qu'il indique, car je dois faire observer que M. Siljestroem, qui a visité cette localité avant M. Durocher, indique seulement des stries (1) dirigées du N. au S., d'autres de l'E. à l'O., et nullement ces stries allant de l'O. à l'E., sur lesquelles M. Durocher a basé ses raisonnements.

La quatrième objection de M. Durocher est une difficulté du même genre. Il ne comprend pas qu'un glacier traverse obliquement la profonde dépression du golfe de Bottnie pour remonter sur les collines de la Finlande. Je le comprends encore moins pour un courant; en effet, un courant se dirigeant du N.-O. vers le golfe se serait évidemment dévié en entrant dans cette dépression, et aurait suivi sa direction, qui est celle du N.-E. au S.-O., de même qu'une rivière qui entre dans une vallée en prend immédiatement la direction. Mais on conçoit qu'une masse de glace traverse obliquement une dépression. Les glaciers de la Suisse nous en offrent de nombreux exemples. Il faut se rappeler ensuite que la pesanteur spécifique maximum de la glace de glaciers est, d'après les expériences de M. Dollfus, à celle de l'eau pure dans le rapport de 909 à 1 000, rapport qui devient pour l'eau salée celui de 883 à 1 000. Cette glace surnage donc en partie à l'eau, et il suffira qu'un glacier appuie ses bords sur le rivage pour pouvoir se soutenir au-dessus d'une masse liquide. Ces conséquences se vérifient dans la nature. Le glacier d'Aletsch, en Suisse, surplombe le lac Moerill; tous les glaciers qui occupent le fond des baies du Spitzberg s'avancent au-dessus de la mer, à une certaine distance, en s'appuyant sur les côtés de la baie (2). Pour toutes ces raisons, il ne me paraît pas absurde de supposer, en grandissant les proportions du phénomène, que les glaciers traversaient autrefois le golfe de Bottnie, comme ils ont probablement traversé les lacs de la Suisse. Dans ce pays on peut démontrer, par la limite altitudinale des anciennes moraines latérales laissées par ces glaciers, que leur base ne reposait pas sur le fond du lac, mais correspondait à peu près au niveau actuel de la surface de l'eau.

La portion de sa carte de la direction des stries, que M. Du-

(1) Carte de la Scandinavie par M. Bravais. *Atlas des voyages de la Commission du Nord*.

(2) Voyez mes Observations sur les glaciers du Spitzberg. *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XXVIII, p. 460, juillet 1840.

rocher a calquée sur celle de M. Sefström (1), présente sur la côte du golfe de Bottnie, entre Gefle et Oeregrund, des flèches dirigées du N.-E. au S.-O., comme si la force qui les a burinées s'avavançait de la mer vers l'intérieur des terres. M. Durocher en tire un grand argument contre les glaciers, qui, dit-il, ne sauraient s'élever du fond d'un bassin, comme le golfe de Bottnie, sur le rivage. L'objection s'applique également aux courants; mais je ne la discuterai pas, car j'ai de fortes raisons de penser que la direction indiquée par M. Sefstroem n'est pas la direction moyenne, mais qu'il a été induit en erreur par des déviations locales. Les souvenirs de mon voyage de 1839, dans lequel j'ai fait la route de Gefle à Upsal qui traverse cette région, ne me rappellent rien de semblable.

Telles sont les objections que M. Durocher présente contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie. Pour ne pas prolonger ce débat, je n'entrerai pas dans l'énumération des difficultés qu'on peut élever contre l'hypothèse des courants diluviens; ma tâche d'ailleurs serait difficile, parce que dans ces deux derniers mémoires, l'auteur ne conclut pas. Jadis il admettait un seul courant (2) qui s'étendait du Spitzberg jusqu'en Allemagne; maintenant, je suppose qu'il doit admettre dix courants différents, successifs ou simultanés (3), coulant vers les quatre points cardinaux, suivant les directions moyennes de ses flèches. L'auteur ne s'étant pas expliqué, je préfère attendre qu'il nous déroule lui-même les conséquences de ses observations, et démontre comment un ou plusieurs courants diluviens rendent mieux compte des faits observés que la supposition de l'ancienne extension des glaciers scandinaves.

Réponse aux objections contre l'ancienne extension des glaciers dans les Alpes.

M. Durocher termine son Mémoire par un parallèle entre le phénomène erratique du Nord et celui des Alpes, des Pyrénées et des Vosges. Il reconnaît l'analogie des effets produits; mais comme il ne tient pas compte de l'action puissante de la mer lors des immersions et des émerisions du sol scandinave, il la pousse,

(1) *Annales de physique de Poggendorff*, t. XLIII, 1838.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 109, 17 janvier 1842.

(3) Voyez sa carte.

selon moi, beaucoup trop loin. Dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges, les effets aqueux se bornent à ceux qui sont résultés de la fonte des glaciers et de l'action incessante des agents atmosphériques; en Scandinavie, il y a de plus les puissants effets de la mer, qui a recouvert à plusieurs reprises une portion considérable de la plaine suédoise. Cette partie du Mémoire renferme une foule d'observations, de détails déjà connus, et d'objections réfutées depuis longtemps. Ainsi, par exemple, M. Durocher fait observer qu'au rétrécissement des vallées les stries sont ascendantes. Qu'il visite le glacier de l'Aar, et il pourra toucher au bas du promontoire qui supporte le pavillon de M. Agassiz, des stries identiques, redressées de 64° d'amont en aval; il retrouvera le même phénomène à huit kilomètres du glacier, à l'étranglement inférieur de la petite vallée du Raeterichsboden, où les stries sont inclinées de 48° sur un promontoire très saillant de la rive gauche, et de 7° seulement sur les parois verticales de la rive droite. Qu'il se rende sur le glacier de Grindelwald inférieur, au défilé de la Stiergeg; il les trouvera relevées de 45° . Partout, en un mot, où un obstacle s'oppose à la progression d'un glacier, il verra des stries ascendantes gravées par la glace, qui se redresse contre le rocher. C'est même un de ces phénomènes que l'eau ne saurait produire, car elle ne burine pas de stries rectilignes, mais creuse des canaux sinueux et ramifiés, des baignoires, des cavités conoïdes, des marmites de géants, etc., etc.

L'auteur se livre ensuite à des considérations météorologiques pour montrer que, même avec un climat analogue à celui des régions polaires, les glaciers des Alpes n'auraient pu s'étendre jusqu'au Jura. Pour le prouver, M. Durocher suppose que la température moyenne de ces régions est de -15° . C'est une erreur; la moyenne du Spitzberg, suivant Scoresby (1), n'est que de -8° , et ce chiffre est confirmé par les observations de Francklin, de Parry et de la commission du Nord. Il affirme de plus que la température est pendant très peu de temps au-dessus de zéro. Nouvelle erreur, car les moyennes des mois d'été sont les suivantes :

Juin.	$+0^{\circ},90$
Juillet.	$+3^{\circ},54$
Août.	$+2^{\circ},88$
Moyenne.	$+2^{\circ},43$

(1) *Account of the arctic regions*, t. I, p. 358.

Ainsi , pendant trois mois , le thermomètre se tient habituellement au-dessus de zéro. Le climat du Spitzberg n'est donc pas aussi froid que le suppose M. Durocher , et cependant toutes les vallées de la côte occidentale sont remplies par des glaciers qui s'avancent jusqu'à la mer. Si le Spitzberg avait la température moyenne de -15° , il n'y aurait pas de glaciers dans cette île ; car les deux conditions essentielles à la formation des glaciers sont : 1^o d'abondantes chutes de neige ; or, on sait que ces chutes ne sont jamais abondantes par de grands froids ; 2^o la fusion de ces mêmes neiges qui se pénètrent d'eau et se transforment ensuite en glacier : or, au grand plateau du Mont-Blanc , dont la température moyenne la plus probable est de $-9^{\circ},4$, il ne se forme plus de glacier ; à *fortiori* ne s'en formerait-il pas avec la moyenne de -15° , que M. Durocher s'imagine être celle du Spitzberg.

Comme tous les auteurs qui n'ont pas fait une étude spéciale des glaciers actuels , M. Durocher se figure que leur ancienne extension suppose un climat très rigoureux. Il n'en est pas ainsi : quelques calculs très simples le prouvent avec la dernière évidence. La température moyenne (1) de la ville de Genève est de $9^{\circ},56$; la ligne des neiges éternelles est à 2 700 mètres au-dessus de la mer , et les grands glaciers de la vallée de Chamonix descendent , en moyenne , à 1 550 mètres au-dessous de cette ligne. Supposons que la température moyenne de Genève s'abaisse de 2° et devienne $7^{\circ},56$: la limite des neiges s'abaissera de 375 mètres , et ne sera plus qu'à 2 325 mètres au-dessus de la mer. Or, on accordera que les glaciers qui sont maintenant à 1 150 mètres au-dessus de la mer descendront de la même quantité , et que leur pied ne sera plus qu'à 775 mètres au-dessus de la mer. Mais il ne faut pas oublier qu'un glacier descend d'autant plus bas que le cirque dont il provient est plus vaste , plus élevé , et plus favorable à l'accumulation des neiges (2). Or, les cirques où la neige s'entasse pendant l'hiver seraient considérablement agrandis par suite de l'abaissement de la température ; les glaciers ne descendront donc pas à 775 mètres au-dessus de la mer seulement , mais environ à 400 , c'est-à-dire

(1) Voyez Météorologie de la France , dans *Patria, ou la France ancienne et moderne* , p. 228.

(2) Desor , Sur les rapports des glaciers avec les reliefs des Alpes. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* , t. XX , p. 883 , 24 mars 1845.

aux bords du lac Léman. Si l'on était tenté de nier l'influence incontestable des cirques sur l'extension des glaciers, je ferais voir qu'il suffirait que la température moyenne de Genève s'abaissât de 4°, c'est-à-dire qu'elle devînt 5°,56 (1), pour qu'avec le temps les glaciers du Mont-Blanc s'étendissent jusqu'au lac Léman. Cette extension est précisément celle qui a eu lieu à l'époque glaciaire

L'abaissement de quelques degrés dans la température moyenne n'a rien d'impossible, et les géologues, qui n'hésitent pas à élever de 10 à 20° les températures moyennes de certaines régions pour y expliquer la présence de végétaux ou d'animaux des régions tropicales, ne sauraient être plus sévères parce que ce changement se fait dans un autre sens, et que le climat se refroidit au lieu de s'échauffer. Cela ne me paraîtrait pas logique, et quoique la cause du refroidissement qui a déterminé l'ancienne extension des glaciers nous soit encore inconnue, le fait en lui-même est certainement une des hypothèses les moins hardies que la géologie se soit permises.

Le Mémoire de M. Durocher se termine par cette concession remarquable : « Néanmoins, il faut reconnaître à la théorie glaciaire un avantage incontestable, celui de faire intervenir des agents qui produisent encore de nos jours, mais sur une échelle beaucoup plus petite, des effets analogues à ceux qui ont eu lieu anciennement, et c'est ce qui lui a conquis beaucoup de partisans dans ces dernières années, tandis que dans la théorie diluvienne, des causes que l'on suppose avoir été en jeu ne fonctionnent pas aujourd'hui dans les mêmes conditions qu'autrefois, et, par suite, ne produisent pas sous nos yeux des effets *tout-à-fait* semblables à ceux des phénomènes erratiques; aussi on n'a pas observé que l'eau des rivières produisît ces érosions en forme de stries fines, etc., etc. »

Cet aveu suffit aux partisans de l'ancienne extension des glaciers. Leur étude constante a été de faire voir que la plupart des phénomènes que l'on attribuait à des courants diluviens sont encore journellement produits par les glaciers; ils ont adopté la méthode que M. Constant Prévost a introduite en géologie : « expliquer les faits qui se sont passés antérieurement à l'époque historique par les agents naturels qui fonctionnent encore aujourd'hui. »

(1) Cette température moyenne est celle de Stockholm et de Christiania.

Les diluvialistes, ou du moins M. Durocher, tiennent un langage différent. Les courants actuels, disent-ils, ne produisent pas les effets qu'il s'agit d'expliquer, et cependant ce sont des courants gigantesques qui les ont produits : ainsi, de leur propre aveu, les plus fortes débâcles, les torrents les plus impétueux, les plus grandes inondations ne peuvent reproduire en petit les effets des courants diluviens. Cependant nous savons que le plus faible ruisseau nous montre en miniature tous les phénomènes d'une grande rivière, et partout dans la nature, nous voyons les mêmes effets se reproduire sur toutes les échelles. Nos adversaires avouent qu'un torrent ne trace jamais des stries rectilignes, et néanmoins ils préfèrent les attribuer à des torrents que de convenir qu'elles ont été gravées par des glaciers qui tous les jours en burinent de semblables sous nos yeux.

Ce sont ces impossibilités qui ont empêché M. Durocher de tirer aucune conclusion des faits qu'il expose dans ses deux derniers Mémoires. Il cherche à prouver que ces faits ne doivent pas être attribués à l'action d'un glacier ; mais il oublie de nous montrer qu'ils s'expliquent avec une merveilleuse facilité dans l'hypothèse d'un ou de plusieurs courants. C'est cependant ce qu'il fallait faire pour porter la conviction dans les esprits. Mais l'auteur a si complètement perdu de vue les conditions de l'hypothèse qu'il s'est chargé de défendre, que ses objections contre les glaciers s'appliquent presque toujours avec une plus grande force encore à la supposition d'un ou de plusieurs courants.

J'ai négligé plusieurs de ces objections, dans la crainte de donner trop d'étendue à cette réfutation, et de prolonger un débat dans lequel j'accepte pour juges tous les géologues qui ont vu les glaciers actuels et comparé leurs effets à ceux qu'on observe dans les plaines de la Suisse et de la Scandinavie.

Note en réponse aux remarques de M. Martins sur le Mémoire précédent, par J. Durocher.

Dans mon Mémoire j'ai exposé les faits tels que je les ai observés, en faisant abstraction de toute idée théorique, sans me demander s'ils sont favorables à telle ou telle manière de voir ; à la suite de cette exposition, j'ai fait connaître les difficultés que me paraît offrir l'hypothèse des glacialistes, lorsqu'on veut en déduire l'explication des phénomènes erratiques du Nord. Je ne prétends pas pour cela que l'hypothèse dilu-

vienne puisse aujourd'hui rendre parfaitement compte des mêmes faits ; je ne me dissimule pas qu'elle donne lieu aussi à des difficultés , mais elles me paraissent moins graves que celles de l'hypothèse glaciaire. J'ai donc présenté mes observations consciencieusement , sans chercher à en donner une théorie qui n'est pas possible actuellement , car il reste encore une grande partie de la Scandinavie à explorer. Loin de reconnaître , comme le font plusieurs glacialistes consciencieux , les difficultés que présente l'application de l'hypothèse glaciaire au nord de l'Europe , M. Martins pense que tout s'explique avec la plus grande facilité ; mais les savants qui ont le plus étudié les phénomènes du Nord , MM. Brongniart , Sefström , Keilhau , Böhlingk , Scheerer , Murchison , de Verneuil , etc. , sont fort éloignés d'y voir cet accord merveilleux entre les faits et l'hypothèse glaciaire.

M. Martins n'apprécie les effets erratiques du Nord que par comparaison avec ce qu'il a vu en Suisse ; et tout le fond de son argumentation consiste à identifier les phénomènes de ces deux contrées ; tandis que les observateurs qui ont examiné les uns et les autres reconnaissent qu'il n'existe entre eux qu'une similitude partielle.

M. Martins commence par contester à mes observations le mérite de la nouveauté ; effectivement , plusieurs savants , MM. Brongniart , Sefström , Keilhau et plusieurs autres , ont déjà décrit le phénomène du striage des rochers scandinaves. J'ai présenté aussi , en 1840 , un mémoire sur ce sujet à l'Académie des sciences (1). Suivant M. Martins , ma carte n'est autre chose qu'une reproduction de stries déjà indiquées ; j'en ai en effet emprunté à M. Sefström pour les parties du midi de la Suède que je n'avais pas visitées , et je le dis positivement dans mon Mémoire ; mais , tant en Suède qu'en Norvège , j'indique un grand nombre de stries dans des régions encore inexplorées ; et dans celles déjà visitées , j'indique des systèmes de stries qui n'avaient pas encore été remarqués. Parmi les stries que j'ai indiquées en Finlande , il n'en est pas une seule qui n'ait été observée par moi , comme on peut s'en convaincre , si on jette les yeux sur un Mémoire que j'ai publié il y a peu d'années (2). Mes observations sur la Finlande ont été

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* , séances du 10 août 1840 et du 17 janvier 1842.

(2) *Voyage en Scandinavie. — Géologie* , par J. Durocher (1842).

faites en 1839 ; celles qu'a imprimées M. Böhrling (*Annales de Poggendorf*, 1841) ont été recueillies la même année que les miennes ; mais le mémoire contenant la relation des faits observés par moi avait été présenté à l'Académie le 10 août 1840 (1), antérieurement à la publication de M. Böhrling ; l'accord de nos observations , faites séparément , mais à la même époque , est une garantie de leur exactitude. D'ailleurs , nos récentes observations font connaître un caractère non encore signalé dans les phénomènes erratiques du Nord , c'est le croisement à la surface des mêmes rochers de systèmes de stries qui se coupent sous des angles voisins de 90° ; déjà , ainsi que plusieurs observateurs , j'avais indiqué des exemples de croisement de stries sous des angles peu considérables , de 20° à 30° , tant en Suisse que dans le Nord ; mais personne n'en avait encore observé sous des angles presque droits ; or , j'en cite de nombreux exemples en Suède et en Norvège.

M. Martins s'attache ensuite à combattre la manière dont j'ai groupé les sulcatures par systèmes , et il conteste que l'on puisse réunir en un même système les stries que j'ai associées. Parmi les nombreux systèmes de sulcatures que j'ai déterminés , M. Martins en choisit précisément un que je n'ai pu observer dans toute son étendue ; car dans des voyages d'exploration , il est impossible de parcourir toute la surface d'une contrée aussi vaste que la Scandinavie. Aux environs d'Åreskutan , dans le Jemtland , j'ai vu un système d'érosions dirigées du N.-N.-E. au S.-S.-O. ; sur le prolongement de ce système , depuis le golfe de Christiania jusqu'à la partie nord du lac Miösen , j'ai vu des stries dirigées de la même manière , du N.-N.-E. au S.-S.-O. , et qui paraissent former le prolongement des précédentes ; je les ai donc considérées comme appartenant *probablement* à un même système , que j'ai indiqué sur ma carte par une ligne pointillée en son milieu , dans la partie que je n'ai pas visitée et où il peut y avoir de l'incertitude. De cette lacune , que j'ai eu bien soin de signaler , M. Martins profite pour taxer ma méthode d'arbitraire et rejeter tout l'ensemble des faits. Je ne puis admettre cette argumentation , quand les principaux systèmes que j'ai indiqués , et que M. Martins a bien soin de passer sous silence , par exemple celui qui

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* , séances du 40 août 1840 et du 17 janvier 1842.

s'étend du littoral de Stockholm, Nyköping et Calmar jusqu'au lac d'Östersund, sur plus de 600 kilomètres de longueur, celui qui traverse la Finlande des environs de *Brahestad* au lac Ladoga, sur 500 kilomètres de longueur, présentent dans toute leur étendue une constance frappante de direction ! Dans quelques uns des systèmes que j'ai établis, il y a des déviations locales, des directions qui s'écartent un peu de la normale, mais ces déviations sont dues à la configuration particulière des rochers qu'ont franchis les convois de débris erratiques.

M. Martins me fait le reproche de laisser de côté des directions de stries qui ne rentrent pas dans les systèmes principaux, et il cite par exemple les stries des environs de Cimbrishamn ; mais dans mon Mémoire, je rattache ces stries, ainsi que celles de l'île Gotland, à un système particulier qui n'est pas encore très connu ; elles ont été tracées par des forces érosives qui ont agi dans le même sens que si elles étaient venues de la partie occidentale du golfe de Finlande.

Quant aux érosions observées dans les vallées profondes qui découpent le massif des hautes montagnes de la Norvège, je dis dans mon Mémoire qu'il n'est pas possible de les grouper suivant des systèmes rectilignes, parce que, comme les stries des Alpes, elles suivent toutes les sinuosités des vallées.

Après avoir cherché à prouver que ma méthode de grouper les stries par systèmes ne vaut rien, M. Martins s'efforce d'expliquer les directions diverses que présentent les sulcatures scandinaves, en les comparant à celles de la Suisse. Mais cette assimilation n'a aucune espèce de fondement. En Suisse, les stries changent d'allure conformément à la disposition des accidents du sol, et dès les premiers pas que j'ai faits dans les Alpes (en 1840), j'ai reconnu cette différence essentielle qui les distingue des stries du Nord, et il ne m'est jamais venu à l'esprit d'y faire des systèmes rectilignes de sulcatures. Dans les déchirures profondes, à parois abruptes, qui séparent les crêtes du Dovre, du Langfield, de l'Iolongie'd, etc., les stries sont disposées comme dans les Alpes : elles rayonnent à partir des hautes cimes en suivant les sinuosités des vallées ; mais les stries que l'on voit en Suède et en Norvège à la surface des collines ondulées et des plateaux moyennement élevés (de quelques centaines de mètres) présentent des caractères tout autres ; elles ont une allure généralement constante et qui bien souvent n'est point en rapport avec la configuration du terrain ; elles coupent, sous des angles très divers, les lignes

de faite de ces plateaux et les vallées ou dépressions qui les séparent.

Par des raisonnements que je ne chercherai pas à réfuter M. Martins arrive à conclure qu'il ne faut pas prendre la direction des stries pour représenter celle du mouvement des agents erratiques, et, par suite, que les divers observateurs qui ont pris tant de soin pour déterminer la direction des sulcatures dans le nord de l'Europe se sont donné une peine inutile ! Comme dédommagement, M. Martins leur donne le conseil de rattacher, ainsi que l'ont fait les géologues suisses, les blocs erratiques à leur gisement originaire, et de déterminer ainsi la marche qu'ont suivie les agents de transport ; ce conseil est un peu tardif, car dès mon premier voyage dans le Nord, en 1839 et 1840, j'ai tâché de rapporter les blocs erratiques dispersés dans le nord de la Russie et de l'Allemagne aux différentes régions d'où ils paraissent être partis, et je suis arrivé ainsi à conclure que les agents de transport ont suivi une marche rayonnante à l'intérieur d'un immense demi-cercle, dont Stockholm formerait à peu près le point central, et dont le contour s'étend des côtes d'Angleterre au midi de la Pologne et à l'est de la Russie d'Europe. Cette méthode de déterminer la direction du mouvement des agents erratiques fournit de précieux renseignements, mais elle ne suffit pas pour faire connaître dans tous ses détails la marche qu'ils ont suivie ; car dans une grande partie de la Scandinavie, le sol est uniformément composé de granite, de gneiss et de roches amphiboliques, et alors l'étude des dépôts de transport ne pourrait fournir des données assez précises, et l'on pourrait même être induit en erreur si l'on déterminait la direction du mouvement des agents érosifs d'après l'examen des gros blocs anguleux, qui, en général, paraissent avoir été transportés par des glaces flottantes, et qui par suite n'ont pas dû contribuer au striage des rochers.

Au sujet de mes observations sur les dépôts de transport, M. Martins remarque que, dans un précédent Mémoire, j'ai distingué les âsars coquilliers de ceux qui ne le sont pas, et que je n'ai pas fait cette distinction dans mon Mémoire actuel. Il me semble qu'il était inutile de répéter des observations que j'ai exposées il y a quelques mois ; mon Mémoire actuel renferme seulement les faits qui ne trouvaient pas leur place dans le précédent ; aussi je n'insisterai pas sur ce sujet.

M. Martins considère comme des moraines remaniées les dépôts de transport que j'ai décrits, ayant une surface plate et la forme

de terrasses, et il attribue une origine particulière aux âsars, qu'il considère comme des dépôts très modernes. Il y a là une confusion de mots, car *ås*, *âsar* en suédois exprime d'une manière générale des élévations de terrain et s'applique habituellement aux élévations formées de dépôt de transport, quelle que soit leur forme, que ce soient de longues terrasses à surfaces unies, ou des monticules en dos d'âne; d'ailleurs on voit en des endroits très voisins le même dépôt de transport offrir ces diverses formes.

M. Martins me reproche de ne point avoir mentionné la présence de cailloux striés auxquels il me paraît attacher une importance exagérée. J'en ai observé en plusieurs endroits, à la surface du terrain de transport; ainsi dans la Scanie, entre Malmö et Ystad, aux environs de Stockholm, dans le Jemtland et dans la contrée de Röraas, de petits blocs (de $\frac{1}{3}$ à 1 mètre cube) présentent des stries, mais ils ne me paraissent pas fournir une preuve certaine que les dépôts où on les trouve soient des moraines remaniées ou non; car ces blocs peuvent avoir été striés autrement que par le frottement de glaciers, et ils peuvent même provenir de la destruction superficielle de rochers striés.

M. Martins regarde les âsars comme des dépôts très récents et même en partie postérieurs à la période humaine; il y a en effet sur les régions littorales des dépôts modernes à la surface desquels se trouvent des blocs erratiques, mais il faut se garder d'en conclure que la grande masse des âsars de la Scandinavie appartient à une époque aussi récente, car j'ai fait voir dans mon dernier Mémoire que généralement en Norvège, en Suède et en Finlande, les âsars sont alignés dans un sens à peu près parallèle aux sulcatures de la contrée où ils se trouvent, et par conséquent qu'il y a un rapport intime entre les causes qui ont tracé les érosions à la surface des rochers et celles qui ont déposé les âsars.

Les objections que j'ai faites contre l'ancienne extension attribuée aux glaciers en Scandinavie dépendent en général de ces principes: 1° que les glaciers se meuvent sous l'action de la pesanteur; 2° qu'en Scandinavie les circonstances locales étaient défavorables au mouvement des glaciers, tel qu'on le suppose avoir eu lieu, et que d'ailleurs ils auraient dû se mouvoir suivant des directions différentes de celles qu'ont suivies les agents érosifs. M. Martins combat d'abord mon opinion que les glaciers se meuvent sous l'action de la gravité, et il allègue que « *dans un corps grave, solide, visqueux ou liquide, l'extrémité inférieure marche*

avec une vitesse sensiblement la même que les parties supérieures. » Quiconque connaît les lois de l'hydrodynamique ne manquera pas de remarquer combien il est inexact de prétendre que dans un corps liquide placé sur une surface diversement inclinée les parties inférieures et supérieures se meuvent avec la même vitesse. Il paraît que ce ne sont pas toujours les glaciers les plus inclinés qui se meuvent le plus vite, quoique l'on n'ait encore fait que peu d'expériences sur ce sujet ; mais il ne faut pas en tirer des conclusions prématurées sur la cause de leur mouvement, car les glaciers n'ont ni la rigidité des corps solides, ni la fluidité des liquides : ce sont des masses poreuses, réticulées, divisées par une quantité innombrables de fissures remplies d'air et d'eau, découpées par des fentes de toutes grandeurs ; ce sont des masses extensibles et ductiles, susceptibles de contraction et d'expansion, tiraillées en divers sens, entraînées par leur poids et gênées par les inégalités de leur fond et de leurs parois, possédant une mobilité plus ou moins grande en raison de la température extérieure et de la quantité d'eau qui les imbibent et qui diminue le frottement réciproque de leurs diverses parties et leur frottement au contact des rochers encaissants. Par leur nature, ces masses se rattachent aux corps solides ; mais, en raison de leur structure, de leur composition mixte et de la facilité avec laquelle une partie de leur substance peut devenir fluide, elles possèdent quelques unes des propriétés de cohésion et de mobilité des corps visqueux ou plastiques. Le sable, l'argile, la terre, la neige, etc., suivant la forme et la grosseur de leurs éléments, suivant leur imbibition d'eau ou leur état de dessiccation, se meuvent sur un terrain imbibé dans des conditions diverses et d'une autre manière que des corps solides ou liquides proprement dits ; il en est ainsi des glaciers : un corps solide, possédant une rigidité et une cohésion absolues, retenu entre des parois sinueuses, serait entièrement privé de mouvement, lors même qu'il serait placé sur une pente forte ; un liquide, au contraire, se diviserait en plusieurs zones, en zones latérales et inférieure dont le mouvement serait ralenti par le frottement des parois, et en zone médiane qui se mouvrait plus rapidement, n'ayant à vaincre que le frottement des particules liquides les unes contre les autres, et la vitesse du mouvement général de cette masse fluide varierait en raison de la pente et de la section du canal. Le mouvement des glaciers est assimilable en partie, mais pas complètement, à celui des liquides ; on ne peut pas lui appliquer rigoureusement les mêmes lois. Par beaucoup de causes un

glacier, placé sur une pente forte, pourra se mouvoir avec une vitesse moindre qu'un autre glacier dont la pente est beaucoup plus faible, si les obstacles de terrain qui s'opposent au mouvement du premier sont plus grands, si le fond sur lequel il repose est congelé, s'il est exposé à une température extérieure plus basse, à des causes de fusion moins énergiques, s'il est imbibé d'une moindre quantité d'eau; l'état physique, la nature élémentaire du glacier, sa structure, le mode d'agrégation de ses parties, la forme extérieure, les dimensions et le poids de sa masse, doivent exercer une certaine influence. Aussi des faits cités par M. Martins on n'est pas en droit de conclure qu'il faut attribuer le mouvement des glaciers à une cause autre que la pesanteur, quand les expériences de M. Forbes ont clairement démontré, comme l'indiquait la théorie, que la dilatation ne joue point dans ce phénomène le rôle qu'on lui avait assigné.

M. Martins veut montrer que les glaciers scandinaves auront pu franchir des plans inclinés à pentes opposées, en disant que les glaciers actuels passent par dessus les inégalités de leur fond; mais ces inégalités n'ont qu'une faible élévation; je ne connais pas d'exemple où on voie des glaciers actuels franchir transversalement des hauteurs de 5 à 800 mètres. D'ailleurs on ne voit pas quelle cause aurait empêché les glaciers scandinaves de suivre le cours des vallées ou des dépressions, comme le font partout les glaciers de nos jours, plutôt que de se mouvoir dans une direction transversale.

Comme j'ai cité des cas où les forces érosives ont dû agir en remontant, M. Martins objecte qu'il est aussi difficile de remonter pour des courants que pour des glaciers; cependant on voit les lames de la mer s'élancer dans les tempêtes par dessus des digues ou remparts qui ont une dizaine de mètres d'élévation, et souvent elles entraînent avec elles des blocs de près d'un mètre cube: il n'y a donc rien d'impossible à ce que d'énormes masses d'eau, animées d'une grande vitesse, aient pu s'élever à une certaine hauteur; ce sont des conditions autres que celles d'un cours d'eau ordinaire, d'une profondeur et d'une vitesse peu considérables. Ici il faut tenir compte du volume de la masse, de son impulsion première, et aussi de la vitesse acquise, qui paraît être sans influence dans l'hypothèse des glaciers.

M. Martins cherche à lever ces difficultés en invoquant le mouvement d'abaissement et d'élévation de certaines parties du littoral scandinave; d'après la manière dont ce mouvement a lieu aujourd'hui sur une partie des côtes de la Baltique, et dont il a eu lieu autrefois sur les côtes de Norvège, il a dû en résulter des change-

ments dans les niveaux relatifs des diverses parties de la Scandinavie ; mais ce mouvement ne paraît pas susceptible de changer la disposition des lignes de faite , de façon que l'on puisse supposer qu'autrefois la surface du sol formait un plan incliné où des glaciers pouvaient se mouvoir comme l'ont fait les agents d'érosion. Dans mon mémoire j'ai déjà discuté cette hypothèse ; j'ai montré qu'en Finlande , par exemple , il faudrait supposer des dénivellations énormes et tout-à-fait hors de proportion avec les changements qui ont pu se produire à la surface de cette contrée depuis la période erratique : pour former, en effet , un plan incliné de $\frac{1}{2}^{\circ}$ seulement, le plateau finlandais, qui a été traversé par les agents érosifs sur une longueur de 50 myriamètres, aurait dû présenter une différence de niveau de 4,363 mètres entre la rive orientale du golfe de Botnie et l'extrémité orientale du golfe de Finlande. Cependant on prétend que les glaciers peuvent se mouvoir sur des pentes très minimales , et on cite à l'appui le glacier de l'Aar, qui , d'après les expériences de M. Desor , se mouvrait sur un fond incliné de $1\frac{1}{4}^{\circ}$; mais l'inclinaison que j'ai fait entrer comme élément dans mon calcul est trois fois plus faible , et de $\frac{1}{4}^{\circ}$ seulement. Il faut remarquer que le glacier de l'Aar est un des moins inclinés que l'on connaisse , puisque sa surface supérieure n'a qu'une pente de 3° ; j'ignore si la pente de sa surface inférieure a été calculée d'après un ou plusieurs sondages : comme le fond sur lequel reposent les glaciers est inégal , présente des concavités et des convexités , il faut forer plusieurs tours de sonde pour déterminer leur épaisseur moyenne à une certaine altitude et en déduire l'inclinaison de leur surface inférieure.

M. Martins pense que des glaciers auront pu traverser le golfe de Botnie, et il appuie son opinion sur ce que, au Spitzberg et au lac d'Aletsch en Suisse, on voit les glaciers surplomber au-dessus des eaux ; cet avancement en surplomb s'explique facilement quand il est seulement de quelques mètres, mais il deviendrait inconcevable s'il atteignait les dimensions du golfe de Botnie !

La disposition des stries du Nord donne lieu à une autre objection très grave, à laquelle M. Martins n'a point répondu : en Finlande, en Suède et dans une partie de la Norvège, les érosions ne sont pas toujours en rapport avec la configuration du terrain, ne sont pas dirigées dans le sens des vallées ou dépressions ; or , les glaciers diluviens n'auraient-ils pas dû descendre le long des vallées, comme les glaciers le font aujourd'hui ? On ne peut cependant pas supposer que depuis cette époque les vallées aient changé de

forme. Mais suivant M. Martins il est encore plus difficile pour des courants que pour des glaciers de se mouvoir obliquement ou transversalement à des dépressions : je répondrai qu'il est facile de concevoir que les eaux de la mer, sous lesquelles était plongée une grande partie de la Scandinavie, soient poussées dans une certaine direction par un soulèvement brusque du sol ; elles pourront alors en vertu de leur impulsion , se mouvoir dans un sens oblique ou même perpendiculaire aux accidents de la surface.

M. Martins regrette de ne pas me voir entrer dans une explication détaillée des phénomènes erratiques de la Scandinavie, de ne pas indiquer l'origine des courants auxquels je les attribue : je répondrai que les faits n'étant pas connus intégralement, qu'une partie très étendue de la Scandinavie restant encore à explorer, il est impossible de donner actuellement une théorie définitive ; celle qui me paraît convenir le mieux à l'ensemble des faits observés jusqu'à présent, et offrir le moins de difficultés, est celle qui suppose une émergence brusque de la Scandinavie. L'existence de plusieurs systèmes d'érosions n'est point aussi difficile à concevoir que le pense M. Martins ; elle montre simplement qu'il ne faut pas attribuer tous les effets produits à un soulèvement unique survenu en un point central, mais à plusieurs soulèvements locaux, dont les centres et les axes correspondent aux points d'où sont partis les divers systèmes d'érosion : beaucoup de ces soulèvements ont dû être simultanés, mais probablement pas tous, et il est vraisemblable qu'ils ont eu lieu pendant un certain période de temps. Les systèmes de sulcatures affectent en général une disposition rayonnante, et il en est que l'on peut réunir ensemble, ou considérer comme les branches d'un système général produit par le soulèvement d'une même région ; tels sont les trois systèmes que j'ai indiqués comme ayant strié le midi de la Suède, suivant les lignes S.-S.-E., S. et S.-S.-O. ; ils paraissent former un même groupe et appartenir à un seul grand système, qui s'est étendu en rayonnant et a embrassé une étendue angulaire d'environ 50°. Mais je répète que je n'attache point à cette théorie une importance fondamentale ; elle n'a d'autre avantage que celui de s'accorder mieux que les autres, à mon avis, avec la généralité des faits connus.

M. Martins me reproche d'attribuer au Spitzberg une température de -15° : c'est en effet la température moyenne que j'ai attribuée aux régions polaires en général ; or, voyons si j'ai tort. D'après M. Martins, la température moyenne du Spitzberg est

de -8° ; on n'a de données à cet égard que celles fournies par Scoresby, car, la commission du Nord n'ayant séjourné au Spitzberg que peu de jours de l'été, on ne peut déduire de ses observations la température de l'année. Or, Scoresby considère la température du 27 avril, $-8,3$, comme représentant la température moyenne du Spitzberg sous le 78° de latitude, c'est-à-dire dans la partie méridionale du Spitzberg ; mais il y a une différence très marquée entre le climat de la partie méridionale et celui de la partie septentrionale (80° de latitude), que nous avons visitée en 1839 ; dans celle-ci il est fort probable que la température moyenne est inférieure à -8° , bien qu'étant supérieure à -15° . Mais à l'île Melville, la température moyenne de l'année est, d'après les observations du capitaine Parry, de -18° ; on voit donc si j'ai commis une grande erreur en attribuant aux régions polaires une température de -15° .

M. Martins avance que par une température moyenne de -15° il ne se formerait pas de glaciers ; mais c'est une erreur, car cela n'exclut point une température un peu supérieure à zéro pendant une partie de l'été ; or ce qui importe pour la formation des glaciers, ce n'est pas que la température moyenne ait une valeur déterminée, mais c'est que la chaleur estivale puisse opérer une fusion partielle de la neige et produire assez d'eau pour imbibber la masse sous-jacente. D'ailleurs il peut y avoir d'abondantes chutes de neige dans les contrées où les hivers sont très froids, surtout si ce sont des contrées littorales ; car les vents qui ont rasé la surface de la mer sont presque saturés d'humidité, et en arrivant au-dessus des terres qui possèdent une température beaucoup plus basse que celle de la mer ils déposent, sous forme de neige, une grande partie de la vapeur d'eau qu'ils contiennent.

M. Martins ajoute : *Comme tous les auteurs qui n'ont pas étudié les glaciers actuels, M. Durocher s' imagine que leur ancienne extension suppose un climat très rigoureux, etc.* Je répondrai à M. Martins que j'ai aussi étudié les glaciers pendant mes différents voyages dans les Alpes, au Spitzberg et dernièrement en Norvège.

M. Martins pense qu'un abaissement de 2° ou de 4° au plus dans la température moyenne permettrait aux glaciers actuels de descendre jusqu'au lac Léman ; son opinion est motivée sur ce que la température s'abaisse de 1° par $187^m,5$ d'élévation dans l'atmosphère. D'abord le chiffre de $187^m,5$ me paraît trop élevé (1) ; d'a-

(1) Ce chiffre est déduit des observations comparées de Genève et du Saint-Bernard ; mais ces deux stations sont trop éloignées l'une de

près l'ensemble des opérations relatives à ce sujet, le chiffre véritable pour nos climats doit être égal à 170, ou s'en écarter fort peu. D'ailleurs l'extension des neiges perpétuelles ne varie pas directement en raison de la température moyenne; elle dépend aussi de la température estivale. Mais sans faire des calculs dont les bases manquent de précision, il est un moyen plus simple d'apprécier approximativement quelle devrait être la température moyenne de Genève pour que les glaciers de la vallée du Rhône descendissent jusqu'au Léman: c'est d'examiner quelle est la température moyenne des parties hautes des vallées de Chamouni, de Saint-Nicolas, du Rhône, de l'Aar, etc., là où se terminent les glaciers actuels; or cette température est en moyenne de $4^{\circ},0$ à $4^{\circ},50$; il faudrait donc que la température de Genève ($9^{\circ},56$) subît un abaissement non de 2° mais de $5^{\circ},56$ ou $5^{\circ},06$. Quant à l'augmentation que suppose M. Martins dans l'influence des cirques couverts de neige, elle ne me paraît pas suffisamment motivée, car les cirques des Alpes sont situés pour la plupart, comme l'a déjà fait remarquer M. Desor, dans la région des neiges perpétuelles, entre 2,600 et 3,000 mètres, et c'est là une des causes principales du grand développement des glaciers alpins; mais je ne vois pas qu'un abaissement de quelques cents mètres dans la limite des neiges perpétuelles puisse augmenter beaucoup l'influence de ces cirques. D'ailleurs les positions de Chamouni, Zermat, etc., dans l'état actuel des choses, sont fort différentes de celles qu'occuperaient Genève, Berne, etc., dans l'hypothèse d'un abaissement de température de quelques degrés; car Chamouni, Zermat, sont pour ainsi dire au pied même des cirques de glace et de neige; pour descendre jusqu'à ces villages les glaciers n'ont à parcourir qu'un trajet fort court, comparativement à celui qu'ils auraient à parcourir pour arriver à Genève; aujourd'hui ils sont abrités par les flancs de montagnes abruptes, tandis que dans les plaines qui séparent les Alpes du Jura ils seraient beaucoup plus exposés à l'action des diverses causes de chaleur: si une température moyenne d'environ $4^{\circ},50$ ne permet pas aux glaciers de nos jours de s'avancer jusqu'au centre des vallées principales, et les force à se maintenir dans les vallées secondaires qui y aboutissent, il est très probable que la même température les empêcherait d'envahir le large bassin de la Basse-Suisse.

l'autre, et soumises à des influences locales trop différentes, pour que l'on puisse en déduire la valeur du décroissement de la température en raison de l'élévation.

Par des considérations très simples on peut reconnaître que l'abaissement de température supposé par M. Martins n'est point une condition suffisante pour satisfaire à sa théorie; en effet la masse des glaciers éprouve chaque année une destruction ou une ablation qui n'est pas entièrement compensée par l'effet, de la congélation produite à leur intérieur; c'est en vertu de l'épaisseur qu'ils ont dans les parties élevées, et qui va en diminuant de plus en plus vers les parties inférieures, que les glaciers peuvent s'abaisser dans des régions dont la température moyenne est supérieure à zéro. Il est alors facile de concevoir que le développement d'un glacier en longueur dépend de la puissance des masses de glace et de névé qui lui donnent naissance : aujourd'hui les glaciers les plus étendus n'ont pas tout-à-fait 3 myriamètres de longueur; il faudrait donc une épaisseur de glace ou de névé incomparablement plus grande pour que les glaciers diluviens s'étendissent à plus de 21 myriamètres de leur origine, c'est-à-dire à une distance sept à huit fois plus grande; cette augmentation d'épaisseur serait en effet justifiée par l'élévation de la zone erratique au-dessus du fond des vallées, élévation qui va jusqu'à 1000 mètres; mais il est évident qu'un abaissement de température de 2 ou 4° n'est point une cause suffisante pour faire acquérir aux glaciers une puissance bien supérieure à celle qu'ils ont aujourd'hui.

J'ajouterai que M. Martins a pris Genève pour point de comparaison; mais le phénomène erratique s'est développé sur les deux versants des Alpes; les agents d'érosion ont laissé des stries dans les vallées jusqu'à leur embouchure dans le grand bassin du Pô (on voit encore des stries sur les rochers avoisinant Ivree, dans la vallée d'Aoste, et aussi dans la vallée de la Doire, près de son extrémité); des blocs alpins ont été aussi déposés à la surface des collines qui se trouvent dans cette plaine. En employant les mêmes considérations que nous avons exposées précédemment, on verrait que pour s'étendre jusqu'au bassin du Pô, les glaciers diluviens auraient exigé un abaissement de température encore plus grand de quelques degrés que celui nécessité par l'hypothèse de leur extension jusqu'au bassin de Léman, vu la différence de température qui existe entre ces deux contrées.

M. Desor ne pense pas que l'objection que l'on tire ordinairement de la pente des glaciers actuels, contre l'ancienne extension des glaciers, ait la portée que lui attribuent quelques auteurs. Sans doute la pente moyenne de la plupart des grands

glaciers des Alpes est supérieure à celle des rivières. La pente du glacier d'Aletsch est, d'après M. Élie de Beaumont, d'environ 3° ; celle du glacier de l'Aar, depuis l'Abschwung jusqu'à l'issue du glacier, est, d'après les mesures géodésiques faites par les soins de M. Agassiz, de $6^m,904$ p. 0/0, soit de $3^{\circ} 57' 32''$, et, dans la partie supérieure, depuis le pied du col de la Strahleck jusqu'à l'Abschwung, de $4^{\circ} 40'$. La pente moyenne de tout le glacier, depuis le pied de la Strahleck jusqu'à la sortie de l'Aar, est de $3^{\circ} 4'$. Mais il ne faut pas oublier que ces mesures ne concernent que la surface des glaciers, et nullement leur fond. En effet, de ce que les glaciers sont beaucoup plus épais dans leur partie supérieure qu'à leur extrémité, il s'ensuit que la différence de pente entre le fond et la surface doit être en raison de cette différence d'épaisseur. Or, en combinant l'épaisseur des différents points du glacier, telle que nous la connaissons maintenant, avec la distance qui sépare ces mêmes points, nous trouvons que la pente moyenne du fond du glacier de l'Aar est de moins d'un degré ($0^{\circ} 43'$).

M. Martins ajoute que dans la Scandinavie les stries ressemblent à celles des Alpes.

M. Durocher convient que dans les montagnes il y a similitude complète, mais qu'il n'en est pas ainsi dans les plateaux de la Suède.

M. Martins demande si M. Durocher admet qu'il y ait eu huit ou dix courants; s'ils ont été simultanés ou successifs.

M. Durocher répond que cela est très difficile à déterminer d'après un premier voyage. Il renonce cependant au courant unique qu'il admettait autrefois, et est disposé à en admettre plusieurs successifs; mais il ne croit pas possible, dans l'état actuel des observations, de faire une théorie. Il est arrivé seulement à ce résultat, qu'il y a eu des centres d'action dans un pays où le niveau moyen est de 800 à 400 mètres et couvert de lacs.

M. V. Streffleur adresse à la Société le prospectus d'un ouvrage publié en allemand et intitulé : *Influence de la rotation sur le niveau des mers et sur la formation des continents et des montagnes, avec un aperçu de l'histoire physique du sol de l'Europe, et un atlas colorié*; in-8°, 368 p. Vienne, 1846.

La table générale, que nous donnons plus bas, présente une idée des matières traitées par l'auteur. M. Streffleur a envoyé en outre la traduction de l'introduction par M. Étienne. Il désirerait voir tout l'ouvrage traduit en français.

Table générale des matières.

CHAPITRE I. Des causes de la différence du niveau des mers actuelles : 1^o Faits; 2^o Explications des naturalistes; 3^o Vues de l'auteur. (*Nota.* Chacun des chapitres suivants présente le même ordre de classification que celui-ci.) — CHAPITRE II. Recherches tendant à déterminer si le niveau de la mer s'élève, s'abaisse, ou si, pendant le cours des temps, il est resté à la même hauteur. — CHAPITRE III. De l'origine et des espèces de courants marins, ainsi que des causes de la différence locale du poids spécifique de l'eau de mer. — CHAPITRE IV. De l'origine des continents, des montagnes et des courants marins, ainsi que des causes de leur distribution, de leur forme et de leur direction actuelles. — CHAPITRE V. Recherches sur les prétendus soulèvements et les abaissements des continents et du fond de la mer. — CHAPITRE VI. Recherches sur l'origine, la propagation et les effets des cataclysmes. — CHAPITRE VII. Aperçu de l'histoire du sol de l'Europe sous le rapport géognostique. — CHAPITRE VIII. Phénomènes de la surface de la terre provenant de l'action du feu.

M. Lory offre à la Société ses *Études sur les terrains secondaires des Alpes dans les environs de Grenoble*.

Ce travail a principalement pour objet la puissante formation crétacée à laquelle appartiennent les montagnes de la Chartreuse, et dont les couches reposent, à l'E. et au S., sur les assises jurassiques des vallées de l'Isère (entre Montmeillan et Grenoble), du Drac et de la Drôme. Cette formation a été regardée comme représentant en Dauphiné l'étage néocomien. D'après les observations de M. Lory elle serait supérieure au terrain néocomien de la Savoie.

M. Marcou donne lecture de sa réponse à une note de M. Royer (*Bulletin*, 2^e série, t. II, p. 705).

Réponse à une note de M. Ernest Royer, sur la non-existence des groupes portlandien et kimméridien dans les Monts-Jura; par M. J. Marcou.

Dans une *Note sur les terrains jurassiques supérieurs et moyens de la Haute-Marne* (insérée dans le *Bulletin*, 2^e série, t. II,

réunion à Avallon, p. 705), M. Royer prétend que les géologues du Jura ont synchronisé à tort plusieurs séries d'assises qui se trouvent dans ces montagnes avec les groupes portlandien et kimméridien de la Haute-Marne et des autres parties de la France; et que MM. Thirria et Thurmann ont pris pour portlandien et kimméridien la base des marnes kimméridiennes et le groupe à Astartes du bassin de Paris, ainsi que quelques assises du corallien. Voyons si les opinions, ou plutôt si les conjectures probables de M. Royer (car ce géologue ne les donne qu'avec beaucoup de réserve), sont en rapport avec les faits observés, et si réellement notre Jura est déshérité des groupes portlandien et kimméridien.

M. Thirria, dans ses deux mémoires sur le terrain jurassique de la Haute-Saône, n'établit pas, à la vérité, une distinction bien tranchée entre les groupes kimméridien et portlandien, qu'il réunit sous le nom de *calcaires et marnes à Exogyres*, quoique l'on trouve dans les coupes que ce savant géologue donne dans sa *Statistique géologique de la Haute-Saône* les assises constituanes du portlandien et du kimméridien, et qu'il n'y ait qu'à les grouper pour opérer les distinctions entre les deux divisions. Si M. Thirria n'a pas opéré ce groupement, cela tient à l'époque où ce géologue étudiait la Haute-Saône, ainsi qu'aux difficultés que présentent les dislocations jurassiques; car le véritable portlandien ne se rencontre que par lambeau dans le fond de quelques vallées et sur de petits monticules, où il n'a pas été entièrement enlevé par les grandes dénudations qui ont eu lieu dans le Jura; et d'un autre côté, il ne faut pas oublier que c'est à M. Thirria que l'on doit les premières bonnes descriptions du terrain jurassique sur le continent, et que l'on connaissait alors un très petit nombre de fossiles du sol français. Mais, avec les connaissances paléontologiques et géognostiques actuelles, on ne peut pas visiter les différents points décrits par M. Thirria sans y reconnaître immédiatement les deux groupes kimméridien et portlandien. Ainsi, dans les environs de Gray, cités par M. Royer, on trouve ces deux groupes très bien développés et très distincts, comme je le montrerai plus loin.

Dans ses *Essais sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy*, M. Thurmann donne une coupe descriptive du terrain jurassique à partir de Porrentruy jusqu'au cirque liaso-keupérien de Cornol dans le Mont-Terrible. Cette coupe, dont l'exactitude dans les détails ne peut être comparée qu'aux ingénieuses théories du savant géologue du Jura bernois, ne renferme pas le véritable groupe portlandien, qui ne se trouve pas au Banné, point de départ

de la coupe. M. Thurmann désigne, à la vérité, le calcaire qui forme la montagne du Banné sous le nom de *calcaire portlandien* ; erreur qui provient de ce que M. Thurmann n'avait pas encore, à cette époque, reconnu le véritable portlandien dans les environs de Porrentruy, et de ce qu'il avait cru, par suite de la ressemblance de plusieurs fossiles des calcaires du Banné avec ceux décrits et cités par MM. Sowerby et Buckland dans l'île de Portland, pouvoir synchroniser ces calcaires avec le *portland-stone*. De sorte qu'il a désigné sous le nom de calcaire portlandien une série d'assises calcaires qui se trouvent au-dessus des marnes kimmériennes et qui ne sont autres que le faciès calcaire du *kimmeridge-clay*, que j'ai désigné sous le nom de calcaire kimmérien (voir *Bulletin de la Société géol.*, t. III, 2^e série, p. 507). Avec les mémoires de M. Thurmann à la main, sans avoir même visité les lieux, il n'est guère possible de pouvoir classer les marnes et calcaires du Banné dans le groupe des Astartes, ou tout-à-fait à la partie inférieure du kimmérien, comme l'a fait M. Royer, qui du reste a visité Porrentruy lors de l'assemblée de la Société géologique de France dans cette ville, et qui alors a pu faire la comparaison avec le kimmérien de Bourgogne et du Boulonnais, dont les fossiles sont presque tous les mêmes. D'ailleurs le groupe séquanien ou à Astartes se trouve très bien développé sur la montagne la Perche, située vis-à-vis du Banné au-dessus du village de Fontenois, et dans le bois du côté de Courchavon près du pont d'Able. Ainsi, il n'y a aucune équivoque sur le synchronisme des marnes et calcaires du Banné avec le groupe kimmérien. Quant au véritable groupe portlandien, M. Thurmann l'a reconnu depuis quelques années sur plusieurs points des environs de Porrentruy, notamment à Alle et au coin du bois près de Courtedoux, où j'ai eu le plaisir de l'étudier dernièrement avec ce savant géologue ; et si je n'en donne plus loin que quelques notes de description, c'est que M. Thurmann prépare en ce moment un travail très détaillé sur les groupes séquanien, kimmérien et portlandien des environs de Porrentruy, travail qui sera très prochainement adressé à la Société géologique.

Un autre géologue, non moins savant et aussi bon observateur que MM. Thurmann et Thirria, M. Gressly, dans son excellent mémoire sur le Jura soleurois, n'établit pas d'une manière bien tranchée les subdivisions de la partie supérieure de l'étage oolitique supérieur, qu'il comprend sous la dénomination de *terrain portlandien*. Cependant M. Gressly avait très bien aperçu les différences notables qui existent entre la pétrographie et la paléontologie des

différentes assises qui composent cette partie supérieure du Jura ; et il est certain que si ce savant géologue eût rencontré une coupe présentant la série bien complète et facile à suivre de l'étage oolitique supérieur , il aurait très bien distingué les groupes séquanien , kimméridien et portlandien , qu'il a réunis dans un même groupe , tout en établissant dans ce groupe des faciès tout-à-fait différents et qui ne sont autres que ces groupes , mais regardés comme étant des faciès du portlandien. De sorte que M. Gressly n'a pas appliqué , dans ce cas , avec exactitude sa belle théorie des différents faciès d'un même groupe , et qu'une rectification est nécessaire pour cette partie de son beau mémoire.

Les recherches que j'ai pu faire dans les diverses parties des Monts-Jura m'ont conduit à regarder de la manière suivante les différents faciès du terrain portlandien , établis par M. Gressly. Le *faciès littoral (a) vaseux à Exogyres et à Ptérocères* (1) n'est autre que le groupe kimméridien comprenant les marnes et calcaires kimméridiens , dont le type se trouve dans les environs de Porrentruy , au Banné et à Haute-Cœuve. Quant à son *faciès des marnes à Astartes* de Bure près Porrentruy , qu'il regarde comme une transformation du faciès (a) , ce n'est autre chose qu'un faciès vasomarneux tout-à-fait analogue au faciès (a) , mais appartenant au groupe à Astartes ou séquanien. De plus , partout où l'on rencontre des *Exogyra virgula* avec association d'Acéphales , faciès qu'il comprend encore dans son faciès (a) (voir page 133 du mémoire cité précédemment) , on est dans les couches des marnes portlandiennes véritables ; car l'*Exogyra virgula* ne se montre jamais dans le kimméridien des Monts-Jura. Le *faciès corallien (b)* n'est autre que le groupe séquanien avec bancs de coraux , dont le type se trouve dans les environs de Salins et à Røedersdorf dans le Haut-Rhin. M. Gressly avait remarqué , avec beaucoup de justesse , que ce faciès coralligène se trouvait en compagnie des Astartes (voir pages 139 et 140) ; de sorte qu'il ne lui a manqué qu'une coupe où la superposition fût certaine , pour qu'il distinguât les deux groupes séquanien et kimméridien dans les environs de Laufon. Le *faciès de charriage portlandien (c)* paraît devoir se rapporter au même faciès , mais dans le groupe séquanien. Quant à ses faciès (d) et (e) à *polypiers spongieux , eugéniacrines , et calcaire à tortues , pélagique et subpélagique* , ils se rapportent ,

(1) Voir *Observations géologiques sur le Jura soleurois* , pages 127 et suivantes , par M. Gressly ; inséré dans les *Nouveaux Mémoires de la Société helvétique* , tome IV,

selon toute apparence , au véritable groupe portlandien. Ainsi , l'on voit que les divers groupes de l'étage oolitique supérieur ne sont pas bornés au bassin parisien , mais se retrouvent encore dans les cantons de Berne et de Soleure , et que M. Gressly , en établissant les divers faciès de son terrain portlandien , n'a fait que distinguer les divers groupes qui en réalité constituent cette partie jurassique supérieure , et qu'il ne lui a manqué qu'une coupe représentant toute la série sur le même point , pour opérer cette distinction par groupe , au lieu d'en faire les divers faciès d'un même groupe , comme il l'a établi.

Après avoir passé en revue les ouvrages des trois principaux géologues qui ont écrit sur les Monts-Jura , et avoir cherché à montrer qu'en ayant seulement les mémoires de ces savants à sa disposition , on ne peut guère nier l'existence du kimméridien et du portlandien dans le Jura français et suisse , je vais essayer de prouver à M. Royer , au moyen des observations que j'ai faites sur divers points du Jura , que réellement nous possédons bien tous les groupes jurassiques supérieurs , et que l'opinion hardie (comme il le dit très bien) qu'il émet est des plus hasardées.

Dans le Jura salinois , voici quel est l'ordre de superposition des couches et les fossiles principaux que l'on y rencontre. Avec l'apparition des Crinoïdes , Cidarides et Polypiers , commencent les premières assises calcaréo-marneuses du groupe corallien , qui , suivant qu'on l'observe dans des régions littorales , subpélagiques ou pélagiques , présente trois faciès bien distincts. Le faciès littoral est caractérisé par un immense développement de Polypiers et de Radiaires , qui ont formé d'énormes bancs coralligènes , autour desquels vivaient quelques acéphales à test fortement plissé et orné le plus souvent de pointes aiguës , ce qui leur donnait un habitus propre à résister aux dangers continuels auxquels ils étaient exposés par les vagues qui venaient se briser sur ces bas-fonds et îles coralliennes. Dans les régions subpélagiques , les bancs coralligènes ont beaucoup diminué et ne se présentent plus que çà et là isolés sur quelques bas-fonds où ils ont été englobés au milieu des assises calcaires alors en voie de formation. De sorte que le faciès subpélagique est caractérisé par un immense développement d'assises calcaires , qui succède à la formation vaso-marneuse de l'étage oxfordien , avec accidents de bancs de coraux et quelques couches lumachelliques formées par des polypiers roulés et usés par les charriages. Quant au faciès pélagique , on le distingue en ce qu'il est composé d'une énorme série d'assises de calcaires compactes , renfermant de temps à autre quelques fragments

de Lithodendres ou d'Astrées, qui, détachés des bancs coralligènes littoraux ou subpélagiques, ont été entraînés en pleine mer par les courants océaniques.

Les assises supérieures du groupe corallien présentent dans toutes les régions un calcaire très oolitique, qui les a fait distinguer des autres assises du groupe sous le nom d'*oolite corallienne*. Quelquefois on y rencontre plusieurs couches qui sont pétries d'une petite Nérinée connue sous le nom de *Nerinea bruntrutana*, Thurm.; mais cette manière d'être de l'oolite corallienne est bornée à un assez petit nombre de points du Jura bernois, de la Haute-Saône et des environs de Salins, ce qui m'a obligé de supprimer cette division du calcaire à Nérinées, et de ne la regarder que comme un faciès de l'oolite corallienne.

M. Royer, dans la coupe qu'il donne du terrain jurassique de la Haute-Marne, distingue, avec beaucoup de justesse, les deux manières d'être du corallien qu'il regarde comme synchroniques, et établit deux aspects pour ce terrain : son aspect (a) qui n'est autre que le faciès pélagique, et son aspect (b) le faciès littoral coralligène. Cette remarque judicieuse de M. Royer, remarque qui avait été déjà faite bien antérieurement par M. Gressly, me fournit l'occasion de donner quelques explications sur la dénomination de groupe corallien donnée aux assises de roches qui constituent ce groupe. Je pense que les désignations des différents groupes qui constituent un étage, puis un terrain, doivent être choisies de telle manière qu'elles rappellent la région géographique où ce groupe se présente dans son plus beau développement, en prenant ce point comme type descriptif du groupe. Si l'on avait toujours suivi cette méthode, au lieu de donner des noms paléontologiques ou technologiques, on n'aurait pas eu à rectifier et à replacer dans leur véritable ordre chronologique un grand nombre de séries de couches, dont le synchronisme avec les assises d'un pays décrit auxquelles on voulait les rapporter était loin d'être exact. Plusieurs géologues très distingués ont reconnu depuis longtemps l'abus que l'on pouvait faire de ces sortes de désignations empruntées à l'industrie et aux fossiles, et se sont appliqués à créer des noms qui, tout en rappelant la région géographique où le groupe peut être le mieux étudié et présente son plus beau développement, n'entraînent pas avec eux les inconvénients de vouloir rappeler que les roches qui le constituent servent dans tel endroit à un usage industriel, comme le mot *quadersandstein*, ou bien que l'on doit y trouver partout le même fossile, comme par exemple les *marnes à Astartes*; le calcaire à Nérinées, etc.

M. Thurmann est un des premiers qui aient senti toute l'importance de ces désignations géographiques, et les géologues français lui doivent plusieurs noms de groupes qui sont actuellement adoptés partout, et qui ne donnent lieu à aucune équivoque; ainsi *portlandien*, *kimméridien*, *oxfordien*, *séquanien*, *néocomien*, etc. M. Alcide d'Orbigny a introduit aussi très judicieusement plusieurs noms qui remplacent avec beaucoup d'avantage ceux que portaient primitivement ces groupes; ainsi *sénonien*, *turonien*, *aptien*, *kellovien*, etc. Je citerai encore M. d'Omalus d'Halloy, qui, en voulant seulement établir avec régularité les divisions géographiques, a, en réalité, posé les bases d'une véritable classification pour les divers groupes des roches sédimentaires qui se trouvent sur notre globe (voir son excellent mémoire intitulé: *Note sur les divisions géographiques*, *Bulletin de l'Académie royale des sciences de Bruxelles*, t. XI, n° 9).

Revenant à la désignation de groupe corallien, je crois que ce nom n'est pas très exact, et qu'en le remplaçant par un nom géographique on éviterait un très grand inconvénient. Car le mot corallien ne rappelle qu'une idée d'une association d'êtres organisés qui constituent ordinairement ces sortes de stations, tels que Polypiers, Échinodermes et Crinoïdes. Or, cet ensemble d'organisme se trouve pour une même série d'assises disséminé çà et là sur des points où il a pu se développer, sans embrasser jamais toutes les localités, où cependant l'on reconnaît un autre ensemble d'êtres que l'on regarde comme ayant vécu à la même époque, et se trouvant dans des assises qui sont synchroniques. De sorte que ce mot de corallien entraîne avec lui une idée qui n'est pas réellement celle que l'on doit se former du groupe que l'on a l'habitude de désigner sous ce nom. D'ailleurs un autre inconvénient non moins grave, c'est qu'il n'existe pas de terrain, pas même de groupe, qui ne présente cet ensemble d'êtres que l'on regarde comme constituant une région coralligène. Or, puisque cet ensemble d'organisme n'est pas exclusivement propre à un groupe, et de plus que dans ce groupe il n'est pas répandu sur presque tous les points, on ne peut le regarder que comme une manière d'être ou un faciès du groupe dans lequel on le rencontre: ce qui me conduit à regarder le mot corallien comme devant désigner un faciès dans un groupe et non pas être le nom même du groupe. Ainsi, il me semble plus logique de désigner le groupe corallien actuel par un nom géographique (que je laisse à la disposition des géologues qui s'occupent plus spécialement de ce terrain), en ayant soin d'établir les di-

vers faciès et de dire : Dans telle région , comme par exemple dans la Haute-Saône , le Porrentruy , ce groupe présente le faciès corallien.

Le corallien , ainsi que l'a établi M. Royer , se présente donc dans la Haute-Marne de la même manière que dans les Monts-Jura , et les assises peuvent parfaitement se synchroniser dans les deux pays , car les fossiles les plus caractéristiques s'y retrouvent au même niveau géognostique , comme on peut le voir par la série suivante :

Serpula gordialis, Goldf.

— *flaccida*, Phill.

— *grandis*, Goldf.

— *convoluta*, Goldf.

Nerinea bruntrutana, Thurm.

— *suprajurensis* (1), Voltz

Ostrea eduliformis, Ziet.

— var. *explanata*, Goldf.

— *rostellaris*, Goldf.

Pecten vimineus, Goldf.

— *ingens*, Thurm.

Terebratula lagenalis, Schlot.

Pinna crassitesta, Thurm.

Arca ringens, Thurm.

Corimya corbuloides, Agass.

Diadema subangulare, Agass.

— *priscum*, Agass.

Pedina sublævis, Agass.

Hemicidaris crenularis, Agass.

Cidaris Blumenbachii, Agass.

— *coronata*, Goldf.

— *crucifera*, Agass.

— *propinqua*, Agass.

— *pustulifera*, Agass.

— *subspinosa*, Nob.

Echinus perlatus, Desmar.

Glypticus hieroglyphicus, Agass.

Apiocrinus rotundus, Miller.

Ceriacrinus Milleri, Kœnig.

Milleriacrinus rosaceus, d'Orb.

— *Beaumontii*, d'Orb.

— *Nodotianus*, d'Orb.

— *echinatus*, d'Orb.

Pentacrinus scalaris, Goldf.

— *cylindricus*, Desor.

Astrea decemradiata subtubulosa,
Thurm.

— *sexradiata nostratum*,
Thurm.

Agaricia fallax, Thurm.

— *confusa*, Thurm.

— *concinna*, Thurm.

— *Gresslyi*, Thurm.

Anthophyllum variabile, Thurm.

Scyphia amicorum, Thurm.

— *Bronnii*, Münst.

Cnemidium bulbosum, Münst.

Lithodendron allobrogum, Thurm.

Etc.

Dans les dernières assises de l'oolite corallienne commencent à apparaître quelques couches marneuses interposées , renfermant quelques fossiles , qui indiquent le commencement des marnes

(1) M. Royer place la *Nerinea suprajurensis* dans les deux divisions du corallien et des calcaires à Astartes ; et il en agit de même pour plusieurs autres fossiles qui se trouvent quelquefois dans trois de ses divisions , tels que *Gryphæa virgula*, *Ostrea solitaria*, *Isocardia ex-centrica* et *inflata*, *Pholadomya Protei*, etc. Cette position d'un même fossile dans trois groupes différents d'un terrain d'une contrée très restreinte , est assez insolite et vient se placer en travers des beaux

séquaniennes. Ces marnes grises-blanchâtres alternent avec de minces couches de calcaires compactes, à pâte très fine, qui finissent par prédominer et par former une très grande série d'assises calcaires que j'ai désignée sous le nom de calcaires séquanien. Ce groupe correspond parfaitement avec la division (c) ou calcaire à Astartes de M. Royer. Les fossiles les plus caractéristiques que l'on y rencontre dans le Jura salinois sont :

Ammonites (2 espèces).

Melania striata, Sow.

— *heddingtonensis*, Sow.

— *abbreviata*, Roem.

Melania turbiniformis, Roem.

— *macrostoma*, Roem.

Nerita cancellata, Ziet.

*Rostellaria Wagneri** (1), Thurm.

résultats auxquels sont parvenus MM. Agassiz et Alcide d'Orbigny. J'ai fait voir, dans le résumé de mon Mémoire intitulé : *Recherches géologiques sur le Jura salinois* (voir *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. III, p. 500), que si l'on trouvait dans les deux groupes séquanien et kimméridien des environs de Besançon et de Salins des fossiles identiques, c'est qu'il s'était effectué une migration de fossiles, et que des charriages les avaient ramenés dans leur première patrie; de sorte que dans le Jura bisontin et salinois les lois des paléontologues se vérifient complètement. Tandis que dans la Haute-Marne, des fossiles identiques se trouvent dans trois groupes, qui, quelquefois, ne se suivent pas, tels que, par exemple, le *Pteroceras oceani* que M. Royer place dans le *portlandien*, le *calcaire à Astartes* et le *calcaire corallien compacte*; dans ce cas il est impossible d'imaginer même une explication satisfaisante, et tout me porte à croire que les espèces identiques de M. Royer sont toutes différentes, et auraient besoin d'être déterminées un peu plus rigoureusement. De sorte que les faits de fossiles différemment distribués dans la Haute-Marne que dans le Jura, décrits par MM. Thirria et Thurmman, sur lesquels s'appuie M. Royer pour nier l'existence du *portlandien* et du *kimméridien* dans le Jura, sont basés sur des déterminations de fossiles qui ont besoin d'être étudiés de nouveau avec plus d'attention; et je pense que si M. Royer avait eu sous les yeux les séries de fossiles des deux pays, classés chacun dans leur groupe respectif, l'étude comparative de ces séries lui aurait démontré le synchronisme qui existe véritablement entre les assises jurassiques de la Champagne et de la Franche-Comté. Avant de terminer cette petite note, je rectifierai la confusion qui existe au sujet de la *Nerinea suprajurensis*. Par suite d'un malentendu, M. Goldfuss a donné ce nom à une espèce qui n'est pas de celles qui se trouvent dans le *portlandien*; car l'exemplaire qui a été figuré et décrit appartient et se trouve dans les collections de M. Thurmman, qui l'a recueilli dans le groupe corallien des environs de Porrentruy.

(1) Les espèces marquées d'un astérisque, ainsi que plusieurs autres que je n'ai pas citées, sont celles qui ont émigré dans le Porrentruy à

Ostrea sandalina, Goldf.

— *sequana*, Thurm.

— *bruntrutana* *, Thurm.

Terebratula (4 ou 5 espèces).

Mytilus pectinatus, Sow.

— *jurensis* *, Mérian.

— *subaequiplicatus* *, Goldf.

Trichites Saussuri *, Thurm.

Ceromya inflata *, Agass.

Trigonia suprajurensis *, Agass.

— *geographica*, Agass.

— *picta*, Agass.

Astarte minima, Phill.

Lucina Elsgaudicæ *, Thurm.

Cidaris bacculifera, Agass.

— *nobilis*, Agass.

Diadema pseudo-diadema, Agass.

Apiocrinus Meriani, Desor.

Pentacrinus (inédit).

Astrea sexradiata baugesica,
Thurm.

Lithodendron Rauracum, Thurm.

— *magnum*, Thurm.

Etc.

Au-dessus des calcaires séquaniens se trouvent les assises des marnes kimmériennes. Ces assises, d'une puissance assez notable dans les régions littorales, vont progressivement en diminuant à mesure que l'on s'avance dans les régions subpélagiques et finissent par disparaître complètement dans les régions pélagiques, où elles sont alors remplacées par les calcaires kimméridiens, qui se confondent avec les assises calcaires séquaniennes et portlandiennes pour ne former qu'une immense série de couches calcaires sans interposition marneuse (comme à la Dôle et au Reculet).

Les marnes kimmériennes du Jura correspondent bien aux marnes kimmériennes de la Haute-Marne : c'est la division (b) de M. Royer ; et les calcaires que j'ai désignés sous le nom de kimméridiens correspondent à la division (c) du portlandien ; ces deux divisions réunies forment mon groupe kimméridien. La liste des fossiles kimméridiens de M. Royer est à peu près la même que celle du kimméridien des Monts-Jura ; seulement les Ammonites, qui se trouvent en assez grande abondance dans la Haute-Marne, sont excessivement rares dans le Jura suisse, ainsi que dans les départements du Doubs et du Jura, où l'on n'en rencontre que les fragments d'une seule espèce ; mais lorsque l'on s'avance du côté du bassin bourguignon, comme aux environs de Gray, de Champlitte, les Ammonites se montrent alors en plus grande abondance et finissent par être aussi communes que dans les régions du bassin parissien. Voici la liste des fossiles caractéristiques de notre kimméridien :

Nautilus giganteus, d'Orb.

Ammonites (3 ou 4 espèces).

P. erocerus oceani, Brong.

Natica hæmispherica, Roem.

Melania cristallina, Thurm.

Trochus Bourguetti, Thurm.

l'époque kimméridienne ; car on ne les trouve pas, dans ce pays, dans le groupe séquanien.

Ostrea solitaria, Sow.
Ceromya excentrica, Agass.
Pholadomya protei, Brong.
 — *truncata*, Agass.
 — *myacina*, Agass.
Homomya hortulana, Agass.
 — *compressa*, Agass.
Arcomya helvetica, Agass.
Mactromya rugosa, Agass.

Pleuromya donacina, Agass.
Corimya Studeri, Agass.
Avicula Gessneri, Thurm.
Perna plana, Thurm.
Spondylus inæquistriatus, Voltz.
Clypeus acutus, Agass.
Hemicidaris Thurmanni, Agass.
Cidaris pyrifer, Agass.
 Etc.

Les *marnes portlandiennes* (que je désignais auparavant sous le nom de *marnes à Exogyres virgules*) viennent se superposer sur les dernières assises du calcaire kimméridien; elles correspondent à la partie inférieure de la division (b) du terrain portlandien de M. Royer; et le calcaire portlandien qui succède à ces marnes correspond à la partie supérieure de la division (b) et à la division (a) du portlandien de la Haute-Marne. On retrouve dans le Jura, à la partie supérieure, les mêmes couches perforées et cariées que cite M. Royer; j'ai même remarqué que ces couches perforées étaient beaucoup plus puissantes lorsqu'on s'avance du côté de la Haute-Marne, comme par exemple aux environs de Gray. Les fossiles des marnes portlandiennes diffèrent complètement de ceux des marnes kimméridiennes, quoique cependant ils affectent des formes très analogues, surtout dans les environs de Porrentruy. Les plus caractéristiques sont les suivants :

Sphærodon gigas, Agass.
Pycnodon Hugii, Agass.
Psammodon, Agass.
Nautilus (inédit).
Pteroceras (inédit).
Phasianella portlandica, Thurm.
Nerinea trinodosa, Voltz.
 — *Salinensis*, Thurm.
 — *grandis*, Voltz.
 — *macrogonia*, Thurm.
Exogyra virgula, DeFr.
Trigonia concentrica, Agass.
Pholadomya multicostata, Agass.

Pholadomya trigonata, Agass.
 — *angulosa*, Agass.
Cercomya spatula, Agass.
Arcomya gracilis, Agass.
Corimya tenera, Agass.
Terebratula biplicata suprajurensis, Thurm.
Gervilia (inédit).
Pygurus jurensis, Nob.
Acrosalenia aspera, Agass.
Discoidea speciosa, Agass.
 Etc.

En résumé, l'on voit que tous les groupes et sous-groupes de l'étage supérieur jurassique de la Haute-Marne se trouvent aussi dans le Jura salinois; et que par conséquent nous possédons aussi les groupes kimméridien et portlandien tels qu'ils se présentent

dans le bassin parisien. Je ne crois pas hors de propos de mettre en regard ce synchronisme des couches :

	LE JURA SALINOIS.	LA HAUTE-MARNE.
Étage oolitique supérieur.	Groupe portlandien. . . { Calcaires portlandiens. . . Marnes portlandiennes. . . }	Divisions (a) et (b) du terrain portlandien de M. Royer.
	Groupe kimméridien. . . { Calcaires kimméridiens. . . Marnes kimméridiennes. . . }	Division (c) du terrain portlandien et (B) des marnes kimmérid.
	Groupe séquanien. . . { Calcaires séquaniens. . . Marnes séquaniennes. . . }	Division (C) ou calcaire à Astartes.
	Groupe corallien. . . { Oolite corallienne. . . Calcaires coralliens. . . }	Divisions (D) et (E), ou calcaire et oolite corallienne.

Il me reste maintenant à examiner si les groupes kimméridien et portlandien se trouvent bien aussi dans les autres parties du Jura. Je me bornerai à quelques mots de description pour deux ou trois points principaux de cette chaîne, pensant que cela suffira pour établir définitivement l'existence de ces groupes.

Les environs de Porrentruy, devenus classiques pour le Jura suisse, depuis les excellentes descriptions qu'en ont données MM. Thurmann et Gressly, présentent d'une manière très développée les différents groupes de l'étage oolitique supérieur. Le groupe corallien s'observe avec son faciès littoral coralligène, soit en s'avancant du côté de Courtemaiche, soit en gravissant les flancs du Mont-Terrible derrière Villars; les fossiles s'y montrent en assez grande abondance, surtout les Polypiers et Cidarides; et dans la partie supérieure on y rencontre dans l'oolite corallienne le faciès à Nérinées, pétri de *Nerinea bruntrutana* et de *Nerinea suprajurensis*. Au-dessus se trouve le groupe séquanien, renfermant un grand nombre d'*Astarte minima*, d'*Apiocrinus Meriani*, etc., et présentant le même faciès pétrographique que dans les départements français du Doubs, de la Haute-Saône et du Jura. On peut surtout observer ce groupe près du sommet de la Perche, montagne qui se trouve vis-à-vis le Banné, à gauche de la route en allant de Porrentruy à Fontenois. Puis viennent les marnes kimméridiennes, si bien développées au Banné et à Haute-Cœuve, où elles présentent le faciès littoral à Acéphales et Gastéropodes. Ces mollusques formaient dans ces régions d'immenses bancs (analogues à ceux que l'on observe aujourd'hui près des rivages de nos mers), où ils vivaient associés par familles de cinquante à cent individus de tout âge; et on les retrouve encore actuellement dans la position normale qu'ils occupaient lors de leur existence. Les calcaires kimméridiens forment en entier la montagne du Banné; et se retrouvent sur beaucoup d'autres coteaux des envi-

rons de Porrentruy. Enfin, l'on rencontre au-dessus de ces calcaires les marnes et calcaires portlandiens, qui présentent une association de fossiles analogue à celle du groupe kimméridien, mais dont les espèces sont différentes. On peut surtout observer ce groupe au coin du bois, près de Courtedoux, et à Alle, localités que j'ai observées tout dernièrement en compagnie de notre savant confrère M. Thurmann. On y rencontre surtout en abondance l'*Exogyra virgula*, le *Trigonia concentrica*, des *Ceromya*, *Corimya*, *Pterocerus*, *Acrosalenia*, etc.

Les différents groupes qui constituent l'étage oolitique supérieur se présentent avec un aussi beau développement dans les environs de Besançon que dans les environs de Salins et de Porrentruy; seulement les faciès pétrographiques et paléontologiques ne sont pas les mêmes que dans ces deux localités. Le corallien se montre à la Vèze et près du Trou-au-Loup, derrière le village de Maure, avec son faciès à Crinoïdes et à accidents chailleux. On le rencontre encore sur plusieurs autres points, mais avec un faciès différent: ainsi, sur la route de Beurre, dans une carrière d'exploitation pour la chaux hydraulique, il se présente sous la forme de calcaire marneux, avec quelques Polypiers siliceux et un assez grand nombre de Térébratules, Trochus et Turbo. L'oolite corallienne se montre très développée, soit en allant du Pont-de-Secours aux Trois-Chatets, soit en montant de Beurre aux carrières de gypse keupérien que l'on exploite derrière ce village; mais rarement on y rencontre le faciès à Nérinées; cependant j'ai recueilli dans cette division plusieurs *Nerinea suprajurensis* dans la coupe de la route de Maure et près de Lapérouse; il est vrai de dire que ce fossile y est assez rare. Le groupe séquanien, très développé sur plusieurs points, peut s'observer dans la coupe de la route de Maure ainsi qu'à Lapérouse, au point de rencontre de la route de Maiche avec celle de Morteau. Dans cette dernière localité surtout les fossiles sont en très grand nombre et présentent des espèces identiques avec ceux que l'on rencontre dans les marnes kimméridiennes des Trois-Chatets, derrière la citadelle; mais il est facile de constater que les fossiles séquaniens sont sur la place même où ils ont vécu, tandis que ceux du kimméridien sont roulés et pêle-mêle, et appartiennent évidemment à un faciès de charriage, qui a ramené ces espèces identiques des rivages jurassiques actuellement occupés par le Jura bernois, où elles avaient émigré sur la fin de la période séquanienne. Les marnes kimméridiennes se présentent donc aux Trois-Chatets, où elles offrent un faciès de charriage; au-dessus se trouvent les calcaires kimméri-

diens; puis viennent les marnes portlandiennes, renfermant un très grand nombre d'*Exogyra virgula* et quelques Myes; ce dernier genre de fossiles est beaucoup moins nombreux que dans le Porrentruy, ce qui indique pour Besançon un faciès subpélagique. Quant aux calcaires portlandiens, ils se montrent très développés dans la coupe de la route de Maure, où ils présentent plusieurs couches perforées et cariées, ainsi que quelques assises dolomitiques.

Je donnerai encore quelques mots de description pour les environs de Gray, parce que ce point se trouve près de la Haute-Marne, et que M. Royer le cite à l'appui de ses conclusions. Les carrières qui se trouvent aux alentours du village de Chargey-les-Gray sont toutes sur le groupe kimméridien, dont les assises, très développées dans cette localité, s'avancent jusque du côté d'Oyrières, où elles sont remplacées par celles du groupe séquanien. Plusieurs carrières de Chargey présentent un très beau développement des marnes kimméridiennes; ainsi, au nord du village, immédiatement en sortant, à gauche de la route, on les rencontre renfermant les fossiles suivants: *Ammonites* (trois espèces), *Nautilus giganteus*, *Pterocerus oceani*, *Pholadomya protei*, *Ceromya eccentrica et inflata*, *Nerinea* (plusieurs espèces), *Terebratula*, etc. Si l'on s'avance du côté de Gray, à moitié chemin entre Chargey et Arc, on retrouve les marnes kimméridiennes avec un plus grand nombre de fossiles que dans la précédente localité, et elles présentent alors tout-à-fait le même faciès que derrière la citadelle de Besançon. En s'élevant ensuite sur le coteau qui domine les Maissonnettes et Arc, surtout du côté qui regarde la ville de Gray, on parcourt successivement les différentes couches du calcaire kimméridien, des marnes portlandiennes, et enfin des calcaires portlandiens qui couronnent le monticule. Les marnes portlandiennes ne m'ont offert que l'*Exogyra virgula* en assez grande abondance, une Térébratule et la *Trigonia concentrica*: quant aux calcaires, ils présentent une immense série d'assises, dont quelques unes renferment plusieurs espèces de Nérinées, et dont la plupart sont perforées et cariées. Ces couches perforées sont plus nombreuses dans les environs de Gray que sur aucun autre point des Monts-Jura; et la ville de Gray elle-même est bâtie sur ces assises. Les marnes portlandiennes se montrent encore dans plusieurs carrières qui se trouvent dans l'intérieur même de Gray, ainsi que du côté du village de Gray-la-ville.

D'après les considérations précédentes, l'on voit que les groupes kimméridien et portlandien existent dans quatre localités princi-

pales des Monts-Jura , situées dans les départements de la Haute-Saône , du Doubs et du Jura , ainsi que dans le canton de Berne. D'où l'on peut conclure que ces groupes existent dans le polygone formé par ces quatre points, comme je le prouverais facilement en donnant les coupes des terrains qui se trouvent dans les régions intermédiaires ; mais je crois inutile de m'arrêter davantage sur cette dissertation , pensant que les observations que je viens de donner suffiront pour qu'à l'avenir on ne vienne plus contester l'existence des groupes kimmérien et portlandien dans les Monts-Jura , et pour convaincre M. Royer de leur présence dans les environs de Gray et de Porrentruy.

Recherches géologiques sur le Jura salinois (résumé de la seconde partie) , par J. Marcou.

Dans la première partie de ce travail , que j'ai eu l'honneur de présenter à la Société dans le semestre d'été de 1846 , je me suis appliqué à décrire les terrains keupérien et jurassique , dont les assises constituent les principaux massifs des Monts-Jura. Dans cette seconde partie, je donne la description du terrain néocomien, dont le dépôt s'est formé après une première dislocation des couches jurassiques.

A la fin de la période portlandienne , des écailllements eurent lieu dans les dépôts qui venaient de s'effectuer ; ce qui apporta les plus grands changements dans la distribution géographique de la mer, et dans les êtres organisés qui l'habitaient. Les rivages qui , pendant toute l'époque jurassique, se trouvaient le long des Vosges et de la Forêt-Noire , furent transportés le long de la lisière orientale de la Suisse , sur la ligne actuellement occupée par Soleure , Bienne, Neuchâtel , Orbe , Gex et Bellegarde. Mais plusieurs bras de mer s'étendirent dans les vallées longitudinales formées par les chaînes de montagnes , et formèrent des golfes et fiords sur plusieurs points du Jura oriental , et surtout dans les régions méridionales. L'un de ces fiords néocomiens se trouve compris dans les limites que j'ai adoptées pour le Jura salinois, et c'est à sa description que j'ai consacré cette seconde partie de mon travail.

La vallée de Nozeroy, connue aussi sous le nom de val de Miéges, communique au N. avec les vallées de Pontarlier, Morteau, les Verrières, qui l'unissaient avec le grand bassin néocomien de l'Helvétie. Les divers groupes constituant le terrain néocomien se trouvant sur plusieurs points de ces vallées, je serai souvent forcé de sortir des limites du Jura salinois pour aller chercher

sur les autres points des explications de plusieurs phénomènes isolés, qui se rattachent à des faits plus généraux.

Les premières assises néocomiennes sont formées de marnes bleues, sableuses, non fossilifères, renfermant sur plusieurs points des dépôts gypseux. On ne les a encore observées que dans les vallées de Nozeroy, de Mouthe et de Morteau. Immédiatement au-dessus se trouve une couche de calcaire compacte, renfermant une très grande quantité d'oolites ferrugineuses, dont la grosseur varie suivant les régions que l'on considère, et dont l'origine est due aux dislocations jurassiques. Lorsque les couches se brisèrent pour former les chaînes du Jura, il y eut dans plusieurs vallées des régions bernoises et soleuroises des déjections de matières ferrugineuses qui vinrent former le dépôt du Bohnerz. Ces dépôts, d'origine semi-plutonique, envahirent toutes les vallées et finirent par déborder au-delà des régions où ils avaient leur foyer d'action. De sorte que les parages actuellement occupés par les cantons de Neuchâtel et de Vaud, les départements du Doubs et du Jura, dans lesquels il se déposait des couches calcaires, et sur plusieurs points des dépôts gypseux, reçurent de ces matières ferrugineuses qui vinrent augmenter et modifier les couches en voie de formation. Mais cet envahissement du Bohnerz dans les autres localités suivit la loi imposée à son origine. A mesure que l'on s'éloigne des régions bohnerziques, on commence, comme entre Bienne et Neuchâtel, à rencontrer, dans les premières assises du calcaire néocomien, de nombreuses oolites ferrugineuses, dont la grosseur et le nombre va en diminuant à mesure que l'on s'avance dans les parties méridionales, et qui, d'abord occupant une grande place dans la hauteur des strates, finissent par devenir presque rudimentaires, comme par exemple au Salève, près de Genève. Dans la vallée de Nozeroy, les oolites sont miliaires et forment une espèce de limonite qui atteint 2 et 3 mètres de hauteur.

Les premiers êtres organisés de la période néocomienne se montrent dans ce groupe; mais on ne les rencontre que sur quelques points, pour ainsi dire privilégiés, où ils ont pu se développer. Car dans les régions bohnerziques les sources chaudes minérales formant ce dépôt s'opposaient aux phénomènes biologiques; et ce n'est que dans les localités où ces agents destructeurs de l'organisme n'avaient plus qu'une très faible influence, que les êtres ont pu exister et constituer une faune. Cette faune de la limonite est des plus curieuses à cause du petit nombre de points sur lesquels on a pu la constater jusqu'à présent. Ce n'est

que dans les deux vallées de Nozeroy et de Mouthe, et encore dans très peu de localités, qu'on a pu l'observer. Les différentes espèces qui la constituent sont presque toutes inédites et ont des formes tout-à-fait spéciales. Les deux seules qui aient été décrites jusqu'à présent sont l'*Ammonites Gœrilianus*, d'Orb., et le *Pygurus rostratus*, Agass. ; je les ai rencontrées aux mines de fer de Bouchérans, avec deux autres espèces d'Ammonites, des Nérinées, Pholadomyes, Avicules, etc.

Au-dessus de cette couche de fer limonite se trouve un calcaire très jaune, compacte, par assises régulièrement stratifiées, renfermant un très petit nombre de fossiles, le plus souvent indéterminables et appartenant au groupe suivant des marnes bleues fossilifères ou marnes d'Hauterive (1). Ces marnes d'Hauterive sont bleues, quelquefois grisâtres, pâteuses, subschistoïdes ; et elles renferment une très grande quantité de fossiles. Suivant qu'on les étudie dans les régions pélagiques, subpélagiques, littorales ou fiordiques, elles présentent des faunes très distinctes et caractéristiques de chacune de ces régions. Ainsi, au Salève, les fossiles dominants sont, d'après M. Favre, les Céphalopodes et quelques Myacées, et les marnes sont devenues un peu calcaires, ce qui constitue le faciès subpélagique ; à Neuchâtel, Orbe et la Sarraz, les Céphalopodes sont encore en assez grand nombre, mais les Myacées dominent ainsi que les Spatangoides, et l'on y trouve aussi quelques Cidarides et Polypiers ; ensemble d'êtres qui constitue le faciès des grands littoraux. Mais si on les étudie dans les petits golfes et fiords qui existent dans les Monts-Jura, on y trouve des faciès beaucoup plus tranchés que le faciès littoral de Neuchâtel ; et c'est véritablement là que la faune néocomienne se montre dans tout son développement. J'ai dressé, pour le fiord actuellement occupé par la vallée de Nozeroy, une carte des différents faciès que présente la faune de ces marnes d'Hauterive. Ces faciès sont au nombre de quatre : Le faciès corallien, que je n'ai encore pu observer que dans une seule localité, à l'Entrepôt, près de Censeau, présente une faune composée presque exclusivement de Polypiers et d'Echinodermes, avec quelques Acéphales à test fortement plissé et orné de pointes ; les Oursins sont presque tous cassés et brisés, excepté ceux dont l'extrême petitesse les a protégés contre les chocs. Les Polypiers qui forment le banc appartiennent aux genres *Scyphia*, *Scyphonia*, *Spongia* et *Ceriopora* ; ce sont tous

(1) Hauterive, village situé à 3 kilomètres N.-E. de Neuchâtel, où ces marnes sont très développées.

des espèces nouvelles. Quant aux Radiaires, on y trouve en abondance les espèces suivantes : *Dysaster ovalus*, Des., *Toxaster complanatus*, Agass., *Nucleolites Olfersii*, Agass., *Galerites pygæa*, Agass., *Diadema Bourgueti*, Agass., *Diadema Picteti*, Desor., *Diadema Macrostoma*, Agass., *Cidaris punctata*, Roem., *C. clunifera*, Agass., *C. hirsuta*, Nob., *C. neocomiensis*, Nob., *Salenia areolata*, Agass., *Goniaster porosus* et *Couloni*, Agass., *Pentacrinus neocomiensis*, Desor. Les mollusques les plus caractéristiques que l'on y trouve sont : *Pleurotomaria neocomiensis* et *Pailleteana*, d'Orb., *Cardium Cottalatinum*, d'Orb., *Arca Carteroni*, d'Orb., *Mytilus Couloni*, Nob., *Lima undata* et *Carteroniana*, d'Orb., *Pecten Goldfusii*, Desh., *Janira neocomiensis* et *Atava*, d'Orb., *Ostrea carinata*, Lam., *Terebratula biplicata v. aucta*, de Buch, et *Tereb. depressa*, Sow.

Le faciès à grandes Ostracées et Corbis est celui que l'on rencontre le plus habituellement et qui se montre principalement à Nozeroy, Mièges et Censeau. Il est constitué par un ensemble de grands Acéphales appartenant surtout à la famille des Ostracées, par quelques fragments de Céphalopodes, ainsi que par des Spatangoides. Les fossiles les plus caractéristiques de ce faciès sont : *Ammonites Leopoldinus*, *cryptoceras* et *clypeiformis*, d'Orb., *Pleurotomaria neocomiensis*, d'Orb., *Pterocera pelagi*, d'Orb., *Natica bulimoides*, d'Orb., *Pleurotomaria gigantea*, Nob., *Lucina Cornucliana*, d'Orb., *Astarte transversa*, Leym., *Ast. Beaumontii*, Leym., *Panopæa neocomiensis*, d'Orb., *Corbis cordiformis*, d'Orb., *Trigonia caudata*, *carinata* et *sulcata*, Agass., *Janira neocomiensis*, d'Orb., *Nucula impressa*, Sow., *Pecten Deshayei*, Leym., *Avicula Carteroni*, d'Orb., *Perna Mulletii*, Desh., *Arca Gabrielis*, d'Orb., *Trigonia rudis*, Park., *Pholadomya elongata*, Agass., *Terebratula biplicata acuta*, de Buch, *Ter. impressa*, Sow., *Toxaster complanatus*, Agass., et *Galerites pygæa*, Agass., etc.

Le faciès à Myacées et Spatangoides s'observe surtout dans les localités retirées et tranquilles, où les dépôts se sont effectués dans le plus grand calme. Ainsi, je l'ai rencontré derrière le banc coralligène de Censeau et entre les bancs à grandes Ostracées et Corbis. Les fossiles les plus nombreux que l'on y trouve appartiennent à la famille des Myacées, tels que *Panopæa*, *Myopsis* et *Pholadomya*; on les rencontre par familles de 50 à 60 individus de tout âge, à la place même où ils vécurent, la partie anale béante et placée en haut. Plusieurs autres genres et espèces d'Acéphales, à test mince et lisse, s'y trouvent aussi en abondance, ainsi qu'une très grande quantité de Spatangoides et de Diadèmes. Le

Serpula quinquecostata, Roem., est aussi très caractéristique de ces sortes de stations. Les principaux fossiles sont : *Solarium neocomiense*, d'Orb., *Rostellaria Dupiniana*, d'Orb., *Cardium Voltzii*, Leym., et *Cottaldinum*, d'Orb., *Ceromya neocomiensis*, Agass., *Arca Raulini* et *Carteroni*, d'Orb., *Trigonia caudata*, Agass., *Panopæa neocomiensis*, d'Orb., *Myopsis Carteroni*, unioides, *lateralis* et *curta*, Agass., *Pholadomya elongata*, Münst., *Anatina Agassizii*, d'Orb., *Venus Robinaldina*, d'Orb., *Terebratula impressa*, Sow., et *ebrodunensis*, Agass., *Nucleolites Olfersii*, subquadratus et lacunosus, Agass., *Discoidea macropyga*, Agass., *Toxaster complanatus*, Agass., *Holaster l'Hardy*, Dub., *Diadema rotulare*, Agass., *Salenia folium querci*, Desor, etc.

Enfin le dernier faciès est un faciès de charriage que l'on rencontre tout-à-fait à l'extrémité du fiord néocomien, du côté des villages de Syrod et de Syam. Il est composé de fossiles roulés et usés qui appartiennent surtout à des espèces ellipsoïdales, tels que *Dysaster ovalus*, *Toxaster complanatus*, *Galerites pygæa*, *Terebratula*, etc.

Au-dessus des marnes d'Hauterive se trouve une série d'assises calcaires, alternant quelquefois avec de minces couches marneuses, surtout à la partie inférieure. Ces calcaires très compacts présentent souvent des lumachelles et des brèches, dans lesquels il est impossible de reconnaître les espèces et même les genres de fossiles qui ont contribué à les former. Le plus souvent ils sont colorés en vert par des grains de fer hydrosilicaté ; ils correspondent au terrain aptien de M. d'Orbigny. Le fossile le plus caractéristique est l'*Exogyra sinuata*, Sow. En superposition de ces calcaires verts se trouve une très grande série de couches de calcaire blanc, quelquefois jaunâtre, correspondant à la première zone de Rudistes. Les fossiles y sont rares et très mal conservés, à l'exception de quelques Térébratules et Polypiers ; quant aux *Radiolites neocomiensis*, d'Orb., je n'en ai rencontré aucun dans cette vallée ; on ne commence à en trouver dans les Monts-Jura qu'à Thoiry et Allemogne (Ain). Ici se termine l'étage néocomien sur lequel vient se placer le Gault ; mais comme ce dernier terrain ne se trouve que par petits lambeaux sur un nombre de points extrêmement restreint, et que je n'ai pu l'observer dans la vallée de Nozeroy que sur un espace de 3 mètres carrés, près de Charbonny, je renvoie sa description à un autre mémoire plus général sur les Monts-Jura.

M. Desor dit qu'il a retrouvé le terrain néocomien parfaite-

ment caractérisé dans les environs de Hildesheim , dans le Hanovre , où il a été décrit , par M. Roemer , sous le nom d'*argile de Hills*. M. d'Orbigny avait déjà reconnu l'identité de cette argile avec le véritable néocomien ; mais M. Roemer , dans son travail sur les terrains crétacés du nord de l'Allemagne , n'avait admis ce parallélisme que pour les assises supérieures de cette formation , et il ne pensait pas que les couches inférieures y fussent également représentées , parce qu'on n'y avait pas trouvé le *Toxaster* (*Spatangus*) *complanatus*. M. Desor a vu récemment ce fossile en plusieurs exemplaires dans la collection de M. Roemer cadet ; en sorte qu'il ne peut plus exister aucun doute sur la correspondance parfaite de ces deux terrains du vrai néocomien et de l'argile de Hills.

Note sur une espèce de granite provenant de la Normandie et de la Bretagne, par M. J. Durocher.

M. Virlet a appelé l'attention des géologues sur une espèce de granite que l'on extrait de la Normandie , et que l'on emploie à Paris à la construction des trottoirs. En y annonçant la présence de galets de quartz (1) , il a été conduit à considérer cette roche comme ayant été dans l'origine un dépôt sédimentaire qui aurait pris ultérieurement l'aspect du granite. Un fait de cette nature et les conséquences qui en découlaient ne pouvaient être vérifiés que sur les carrières mêmes d'où on extrait la pierre. J'ai visité dernièrement les principales exploitations situées aux environs de Vire , en Normandie , et j'ai reconnu que c'est la même espèce de granite que j'avais observée depuis longtemps en Bretagne : elle se montre avec des caractères à peu près identiques sur de vastes surfaces dans les départements du Calvados , de la Manche , de l'Ille-et-Vilaine et des Côtes-du-Nord ; c'est elle qui constitue les îles Chausey , situées près de Granville. On l'exploite dans un grand nombre de localités , principalement aux environs de Vire , d'Avranches , de Fougères , de Saint-Brieuc , Chausey , etc. ; on en tire de superbes blocs dont une partie est employée dans les villes environnantes et dont l'autre est expédiée à Paris pour y être employée à la construction des trottoirs , aux revêtements des quais , etc. Ce granite plaît moins à l'œil que les granites porphy-

(1) *Bulletin de la Société géologique* , séance du 4^{er} décembre 1845.

roïdes à grands cristaux de feldspath, mais il leur est infiniment supérieur par sa solidité, par la facilité avec laquelle on le travaille et le peu d'altération qu'il éprouve à l'air. Ce granite est homogène, à grains moyens, contenant une assez forte proportion de quartz; le feldspath y est de grosseur moyenne; on en distingue deux espèces, de l'orthose en lames un peu larges, et des cristaux hémitropes plus petits et un peu plus allongés, présentant des stries formées par des hémitropies concaves: ce doit être de l'albite, ou peut-être de l'oligoclase, car il est très difficile de discerner ces deux minéraux l'un de l'autre quand ils sont en petits cristaux mélangés d'orthose et de quartz. A la surface des roches, ce granite est généralement décomposé et devenu friable; l'altération s'est produite pendant une longue série de siècles d'une manière assez bizarre, dont la figure 6 (pl. I) peut donner une idée. Au milieu des parties décomposées, qui se dégagent avec la plus grande facilité, on trouve des blocs de 5 à 10 et 20 mètres cubes qui ont conservé toute leur dureté et toute leur solidité, qui ne sont traversés par aucune fente, et beaucoup de carrières sont ouvertes sur des blocs de ce genre. Le granite intact offre presque toujours une teinte d'un gris bleuâtre, qui est le plus marquée sur les cristaux de feldspath; le quartz présente aussi cette teinte, mais beaucoup moins prononcée; il se rapproche davantage du gris clair; le mica est très brillant, d'un beau noir, mélangé de quelques feuilletts bruns, lilas et blancs. Mais dans les parties en décomposition le mica est tout-à-fait terne, d'un aspect terreux; sa couleur noire a été remplacée par une couleur verdâtre et d'un gris sale; souvent le granite altéré a pris une teinte jaunâtre, provenant de ce que le protoxyde de fer contenu dans les éléments de la roche s'est changé en hydrate de peroxyde, ou quelquefois provenant d'infiltrations ferrugineuses.

En beaucoup d'endroits, dans les portions limitrophes de la Manche et de l'Ille-et-Vilaine, et surtout aux environs de Vire, dans le Calvados, on voit des parties noduleuses au milieu de ce granite; il est peu de blocs extraits des carrières de Vire où l'on ne voie de ces gros noyaux dont la longueur et la largeur varient de quelques centimètres à 2 et même 3 décimètres. Il y en a de deux espèces, des noyaux ou rognons de mica, et des noyaux de quartz; les premiers sont ordinairement un peu aplatis et offrent quelquefois une apparence schistoïde, mais en les brisant on reconnaît que les feuilletts de mica sont orientés de diverses manières, au lieu d'être couchés suivant un même plan comme dans

le micaschiste ; le mica est d'ailleurs identique à celui qui se trouve disséminé dans la masse granitique. Les nodules qu'il constitue ont des formes très variées, généralement lenticulaires, mais offrant quelquefois des pointes saillantes et des parties concaves, fig. 2 et 3. Les nodules de quartz affectent aussi des formes diverses, lenticulaire, sphéroïdale, polyédrique, avec angles saillants et rentrants. J'ai examiné avec soin les noyaux de quartz sphéroïdaux pour constater si ce sont bien des cailloux roulés, mais je ne puis les considérer comme tels, bien que plusieurs d'entre eux, vus d'une certaine distance, paraissent être arrondis ; mais si on les observe de très près, on reconnaît que le contour de ces noyaux n'est pas nettement dessiné, qu'il forme une ligne sinueuse dentelée, que le quartz se fond insensiblement dans la masse granitique environnante. On pourrait, il est vrai, expliquer cette disposition en supposant que les noyaux ont été fondus sur les bords ; mais le quartz dont ils sont formés paraît être le même que celui de la masse granitique ; on y voit des parties blanchâtres, un peu laiteuses, mélangées avec les parties hyalines ; en les examinant avec une forte loupe, on y remarque des rudiments cristallins s'entre-croisant en différents sens, de sorte qu'à l'intérieur de ce noyau il s'est produit un commencement de cristallisation confuse.

Sur le bord de ces noyaux on voit des cristaux de feldspath qui pénètrent dedans, et j'en ai même observé au milieu des noyaux de mica. Il est une autre circonstance qui m'a convaincu que l'on ne peut considérer ces rognons comme des cailloux roulés, c'est que l'on trouve des nodules de mica interposés au sein des noyaux quartzeux, comme le montre la figure que j'ai dessinée aux environs de Fougères, sur la masse granitique séparant la Bretagne de la Normandie, et qui me paraît très propre à éclaircir l'origine de ce phénomène : ici la masse a une forme branchue, à elle sont accolés des nodules de mica, tandis que d'autres sont enchâssés dedans ; d'ailleurs, le noyau de quartz est de la même nature que les noyaux ovoïdes ou sphéroïdaux.

On doit assigner la même origine à tous ces rognons de quartz et de mica qui forment, pour ainsi dire, les nœuds du granite, et que les carriers désignent sous le nom de *nœuds blancs* et de *nœuds noirs* ; ce sont des accidents de cristallisation (1). Lorsque

(1) Néanmoins on rencontre quelquefois dans ces granites des fragments étrangers qui ont été empâtés : ainsi, des lambeaux de

le noyau granitique a passé de l'état pâteux à l'état solide, et que la cristallisation s'y est développée, le quartz formait une pâte molle au milieu de laquelle le feldspath prenait la forme lamelleuse et le mica la structure foliacée; alors une partie du quartz s'est agrégée comme par un effet d'attraction, et a donné lieu à des bourrelets, au contact et au milieu desquels ont pris naissance des bourrelets de mica d'une manière semblable. Il est néanmoins remarquable de voir que le quartz et le mica ont pu s'isoler des autres éléments qui les environnaient.

Les granites de la partie méridionale de la Bretagne offrent très souvent une structure schistoïde, mais cette manière d'être se montre rarement dans les granites à grains moyens que je viens de décrire; à ceux-ci je pense que l'on doit rattacher les granites porphyroïdes à grands cristaux de feldspath, qui sont très développés aux environs de Cherbourg, de Brest, etc., et en beaucoup d'endroits de la Bretagne, bien qu'ils diffèrent sensiblement par leur aspect extérieur; outre les larges lames d'orthose, ils renferment aussi des cristaux plus petits, hémitropes, à angle rentrant, formés d'albite ou d'oligoclase. La différence entre ces variétés de granites provient de ce que dans les granites porphyroïdes le feldspath se trouve plus abondant et a pris de plus grandes dimensions. On a regardé ces granites comme produits à deux époques distinctes, mais ils me paraissent être simplement le résultat de deux modes de cristallisation différents.

Légende des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6.

1, 2 et 3. Figures représentant quelques unes des formes des nodules de mica.

4. Nodule de quartz grossièrement sphéroïdal.

5. Nodule de quartz branchu avec nodules de mica (*m*) appliqués contre lui et enchâssés à l'intérieur.

6. Figure dessinée près de Louvigné (arrondissement de Fougères); elle représente la disposition du granite à grains moyens des environs de Vire, Fougères, etc., en forme de blocs solides et intacts, entourés d'une masse granitique décomposée et tout-à-fait friable.

M. Bertrand Geslin ajoute que les apparences de cailloux

schiste micacé, et principalement de grauwacke métamorphique, micacée et chargée de noyaux macleux; mais ces fragments, provenant de la roche adjacente, sont anguleux et n'ont pas été roulés.

roulés ont l'air de fragments de micaschiste à Dinan, aux îles Jersey, etc.

M. Virlet répond à MM. Durocher et Bertrand Geslin, qu'il est bien vrai qu'un grand nombre de fragments renfermés dans les granites du Calvados sont des fragments schisteux micacés, quelquefois de gneiss, mais qu'il y en a aussi de différentes roches, comme des espèces de pétro-silex ou roches quartzeuses verdâtres; beaucoup sont composés d'une espèce de stéatite vert-foncé, à structure schisteuse ou compacte; il y en a en véritable quartzite et même en lydienne; ce sont surtout ces derniers qui ont conservé leurs formes de galets, ce qui doit être; plusieurs de ces fragments, étant d'ailleurs traversés par des filons qui ne pénètrent pas dans la masse de granite, indiquent évidemment une existence antérieure et non une ségrégation, comme le pensent encore M. Durocher et quelques autres géologues. Du reste, tous ces fragments, ayant été soumis aux mêmes modifications que le terrain qui les renferme, doivent nécessairement, dans le plus grand nombre de cas, se fondre avec la masse ambiante; néanmoins ils montrent toujours une composition et un arrangement moléculaire différents. Au surplus, ajoute M. Virlet, ces phénomènes peuvent s'observer bien mieux à Paris que dans les carrières mêmes; car une cassure brute ne le laisse apercevoir ni aussi nettement ni aussi distinctement que sur les dalles qui ont reçu un certain poli par suite du piétinement, surtout quand celles-ci sont mouillées. Il suffit donc, je crois, de parcourir les rues de Paris, après une forte pluie, pour bien se convaincre que la plupart de ces noyaux sont de véritables galets, dont la plupart ont des formes moutonnées mais anguleuses, comme de galets de rivières qui n'ont encore que leurs angles émoussés; au milieu de ce grand nombre de galets de formes et de compositions si diverses, il y en a aussi beaucoup qui ont conservé leurs formes parfaites de galets marins. Tel est celui que j'ai figuré pl. I, fig. 1, page 13, et que j'avais déjà signalé rue du Rocher, d'où je m'occupe de le faire transporter à l'École des Mines de Paris. Ce galet est composé d'une masse granitoïde bleue, à petits grains bien distincts; il se dessine très nettement par

une petite bordure noire qui tranche avec le fond blanc de la dalle.

Le petit galet de 5 à 6 centimètres, représenté fig. 2, est en quarzite gris-noirâtre, également signalé dans une dalle de bordage du trottoir de la maison n° 73, rue du Bac; ce galet, quoique très adhérent à la masse, a conservé sa forme sphéroïdale très nette; il se termine par une bordure plus noire en forme d'auréole, comme on en trouve dans un grand nombre de galets siliceux des alluvions anciennes du bassin de Paris. La dalle qui le renferme renferme aussi beaucoup d'autres noyaux de nature et de formes diverses.

J'ai représenté, fig. 3, un autre galet granitique observé sur le quai d'Orsay; il est enveloppé par une surface ferrugineuse qui pénètre, en se fondant, dans le galet et dans la masse enveloppante en forme d'auréole double.

Enfin, j'ai indiqué, dans la fig. 4, *a, b, c, d, e*, quelques uns des galets ou noyaux de la dalle signalée aussi rue Laffitte, mais aujourd'hui transportée à l'École des Mines. *a* indique le fragment semi-anguleux noir, à apparences organiques; bien que, par suite des modifications subies par ce fragment siliceux, il ne soit pas resté de traces apparentes d'organisation, cependant cette série d'anneaux et de petits points blancs au milieu même de ces anneaux rappelle assez bien l'organisation si curieuse des psarolithes silicifiées des environs d'Autun: *b* est un noyau noir siliceux, avec une petite lentille de quartz enclavée; *c* est un noyau en feldspath blanc grenu, moucheté de petits points noirs; *d* est un noyau gris à structure grésique; *e* est un noyau noir micacé, à structure gneissique très bien accusée. Outre ces noyaux, la même dalle en renferme encore une multitude d'autres en quartz et autres matières, que l'on distingue très bien, lorsqu'on a soin de la mouiller.

Séance du 16 novembre 1846.

PRÉSIDENCE DE M. DE VERNEUIL.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Soc. géol., 2^e série, tome IV.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

Le comte D. PAOLI, à Pesaro (États de l'Église), présenté par MM. le comte Spada et Orsini ;

MARTINET, imprimeur, à Paris, rue Jacob, 30, présenté par MM. Viquesnel et Le Blanc ;

D. RAMON PELLICO, ingénieur en chef des mines, et professeur d'exploitation à l'École des mines de Madrid, calle de las Fuentes, à Madrid, présenté par MM. Naranjo y Garza et Le Blanc ;

DE REY, à Paris, rue Monsigny, 5, présenté par MM. Hugar et Alc. d'Orbigny ;

MALLET (Adolphe), à Valence (Drôme), présenté par MM. Angelot et Alexandre Rouault ;

PIDANCET, conservateur du Muséum, à Besançon (Doubs), présenté par MM. Marcou et Hugar.

M. le Président annonce ensuite quatre présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Ministre de la justice, *Journal des savants*, octobre 1846.

De la part de M. J. Durocher, *Notice géologique des îles Férœ* (extr. des *Annales des mines*, 4^e série, t. VI) ; in-8°, 24 p., 2 pl. Paris, 1844.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, 1846, 2^e semestre, t. XXIII, nos 18—19.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. VI, n° 33.

L'Institut, 1846, nos 670—671.

Mémoires de la Société royale des sciences de Lille, 1846, in-8°.

The Athenæum, 1846, nos 993—994.

The Mining Journal, 1846, nos 585—586.

Correspondenzblatt, etc. (Feuille de correspondance de la Société royale d'agriculture de Wurtemberg) ; nouvelle série, t. XXX, 1846, 2^e vol., 1^{er} et 2^e cahiers.

Les procès-verbaux de la séance d'Alais, qui sont arrivés, sont renvoyés à la commission du *Bulletin*.

M. Viquesnel communique, au nom de M. Boué, la notice suivante :

Description de l'Atlas composé et présenté par M. le colonel de Hauslab sous le titre de : Représentation graphique des rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie du globe terrestre ; par M. Boué.

M. le colonel de Hauslab a adressé, en juin 1844, à la Société géologique de France, un atlas de 40 planches sous le titre de *Représentation graphique des rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie du globe terrestre*. La courte notice jointe au texte et publiée dans le *Bulletin* (voir pages 569 à 573, t. I, de la 2^e série) est insuffisante pour faire connaître le but de l'auteur, qu'il faut pour ainsi dire deviner par l'inspection des planches. D'ailleurs, cette notice n'est que le résumé incomplet d'un mémoire dont une partie est restée inédite ; ce qui est d'autant plus regrettable que peu de personnes ont pu saisir l'ensemble du travail. Or, maintenant on vient d'illustrer, dans des ouvrages spéciaux, les idées de l'auteur ; il est donc nécessaire et *bienséant de rendre à chacun ce qui lui est dû*, en analysant dans le *Bulletin*, quoique fort tard, un travail de cette importance d'un de nos plus anciens membres.

La planche I de l'atlas est purement théorique. L'auteur, géographe-ingénieur, a fait naturellement une étude particulière des formes du terrain, et a saisi leurs rapports avec celles des étendues hydrographiques et géologiques ; considérations qui trouvent leur application dans les levers géographiques comme dans l'art de la guerre.

La surface terrestre, considérée en grand, se décompose en cavités ou bassins séparés par des arêtes ou montagnes qui, entre plusieurs bassins, prennent la forme de masses quadrangulaires, ou rhomboïdales ou triangulaires. La plus simple forme d'un bassin est celle d'un rond ou ovale avec un canal d'écoulement : c'est le type primitif des bassins pour notre auteur. Son second type figure une cavité à bords sinueux ; son troisième type un bassin à golfes ; son quatrième type une réunion de bassins séparés, liés par des canaux et subordonnés à un bassin primitif ; et son cinquième type, plusieurs bassins séparés et isolés, subordonnés aussi en grand à un bassin primitif. Des coupes indiquent les

formes individuelles de chacun de ces cinq types de bassins. Ceci établi, l'auteur considère les rapports des bassins, des arêtes et des cols, et reconnaît que les coupes d'un bassin sont toujours concaves, celles d'une arête toujours convexes et celles d'un col toujours concaves dans le haut et convexes sur les côtés. De plus, dans chaque bassin, ainsi que sur chaque arête et chaque col, il y a un point ou un espace où la surface est horizontale.

Dans le sens géologique, ces formes et limites énoncées se produisent également par la théorie des soulèvements ou par celle des érosions. Ensuite l'auteur considère les rapports de l'orographie avec l'hydrographie et la géologie, et figure pour cela un bassin orographique, c'est-à-dire limité par des chaînes de montagnes, dont l'étendue coïncide avec son bassin hydrographique ou les détails des eaux qui l'arrosent. Une autre figure montre, au contraire, un bassin orographique non coïncidant avec les bassins hydrographiques, savoir : un bassin traversé, par exemple, par un fleuve qui prend sa source dans un bassin voisin, ou une rivière sortant de son bassin supérieur par une fente dans une chaîne, accident jadis si méconnu par les géographes. Enfin, l'auteur représente d'un côté un bassin géologique, c'est-à-dire une cavité remplie de divers dépôts dont les limites coïncident avec celles d'un bassin orographique, et de l'autre un bassin géologique où cette coïncidence n'existe pas parce que des séries de hauteurs s'y opposent, ou que certaines formations se prolongent au-delà de certaines chaînes.

Les bassins géologiques, considérés à part, lui offrent les mêmes types que les bassins naturels, savoir : de simples cavités rondes ou ovales, des dépressions à bords sinueux ou à golfes, des bassins séparés, liés par des canaux et subordonnés à un bassin primitif, ou des bassins séparés et isolés quoique subordonnés à un bassin primitif. En dernière analyse, toutes ces formes géologiques se réduisent, en négligeant les détails, au type primitif, savoir : une cavité centrale remplie par des formations supérieures, tandis que ces dernières reposent dans une cuvette composée de formations inférieures, dépôts qui les enveloppent et forment leur contour extérieur. — On voit donc que l'auteur cherche à réduire les généralités de la géographie physique et géologique à leurs dernières expressions ou leurs *formules*, et à *illustrer ces dernières par des dessins*.

La planche II de son atlas est une *représentation du relief de l'Europe et d'une partie de l'Asie et de l'Afrique par tranches horizontales*. Au lieu d'employer le système ordinaire des hachures

plus foncées d'après les pentes, il a essayé de foncer les tranches d'autant plus qu'elles occupent un niveau plus élevé.

La planche III donne la même représentation, avec la différence que les tranches horizontales sont distinguées par des couleurs pour rendre plus aisée la reconnaissance de la hauteur égale des points éloignés les uns des autres.

La planche IV donne une *représentation détaillée des bassins orographiques de l'Europe et d'une partie de l'Asie et de l'Afrique*.

La planche V donne celle de ces *grands bassins* seulement, tous leurs petits détails étant supprimés. De cette manière, l'auteur arrive à reconnaître, entre les grands bassins sarmate et africain d'une part, et les deux bassins atlantiques de l'autre, une grande digue isolée et courbe qui comprend tous les pays les plus montagneux depuis l'Asie centrale et l'Éthiopie jusqu'au détroit de Gibraltar.

La planche VI représente les *sillons les plus profonds du relief de l'Europe et d'une partie de l'Asie et de l'Afrique*, et conduit à apercevoir dans ces sillons une répétition et un parallélisme remarquable des mêmes formes. De plus, on observe, au N. de la digue montagneuse ou épine de l'Europe dont nous avons parlé, des accidents de formes qui sembleraient s'expliquer, jusqu'à un certain point (et sans exclure les effets de soulèvement), par l'action des grands courants venus du N.-E., tandis qu'au S. de la digue les formes de ce versant se rattacheraient aux effets destructeurs des courants provenus du S.-E.

Les planches VII et VIII offrent le *relief du globe par tranches horizontales*, en noir et en couleur comme les cartes précédentes, et l'auteur a fait choix pour cela d'une projection polaire approximative, où le pôle du S. formerait, au lieu d'un point, un cercle.

Les planches IX et X sont les représentations, l'une détaillée, l'autre en grand, des *bassins orographiques du globe*, ce qui conduit notre auteur (tendant toujours du composé à la plus simple expression) à ne reconnaître sur le globe que cinq grands bassins, savoir : 1° le bassin océanique du S. ; 2° le bassin océanique du N. ; 3° le bassin indien ; 4° le bassin atlantique du N. ; 5° le bassin atlantique du S.

La planche XI représente par des couleurs cette dernière abstraction.

Dans la planche XII on voit en très grand ce que l'auteur a reconnu en petit dans de petits bassins, savoir : des masses émergées restant entre trois bassins et formant les noyaux principaux des

continents , et des canaux liant deux des bassins. De plus , le massif fondamental de l'ancien monde est continu et a un éperon qui constitue l'Europe et qui a été entaillé , tandis que les massifs du nouveau monde sont disjoints , et autour du pôle N. rayonnent , comme d'un centre , des chaînes linéaires méridiennes.

La planche XIII figure les *sillons les plus profonds du relief du globe* , et donne occasion de remarquer les mêmes phénomènes de répétition de formes et de parallélisme que pour l'Europe , pl. VI. A quelque époque que tombe leur formation individuelle , tous ont été occupés plus ou moins longtemps par les eaux soit de mer , soit d'eau douce ; l'indication du sillon médian ou *thalweg* principal de ces courants doit trouver son application dans les théories géologiques ; et plus nous considérons l'état du globe à une période reculée de nous , plus les mouvements de ces masses d'eau ont dû dépendre de phénomènes astronomiques généraux , dont l'influence sur les dépôts , sur leur formation , sur les chaînes et sur les continents , doit avoir été d'autant plus grande que l'époque dont on s'occupe est plus ancienne. C'est aux personnes bien au fait des soulèvements à mettre cette donnée et ses effets en rapport avec ceux des mouvements des eaux du globe ; car il est clair qu'avec des digues tropicales annulées les océans auraient de tout autres mouvements qu'actuellement , et par conséquent de tout autres effets , soit mécaniques , soit climatiques. Or , plus l'édifice de ces digues a avancé , plus ont été modifiés les phénomènes marins. C'est la thèse que M. Streffleur a voulu illustrer d'après les idées du colonel de Hauslab. Les formes des chaînes et des continents dépendent donc autant des soulèvements que de l'action du liquide qui les a longtemps lavés , corrodés ou encroûtés.

La planche XIV est une *représentation des bassins hydrographiques de l'Europe et d'une partie de l'Asie et de l'Afrique* , dans laquelle on trouve de bons exemples de l'indépendance des bassins hydrographiques d'avec les bassins orographiques.

La planche XV montre les *cinq bassins hydrographiques du globe* , savoir : les deux bassins océaniques du S. et du N. , le bassin indien et les deux bassins atlantiques du N. et du S. , chacun d'eux comprenant les bas pays des continents. On y remarque que l'Asie , l'Afrique , les deux Amériques , et peut-être la Nouvelle-Hollande , ont des bassins intérieurs , dont les eaux ne s'écoulent pas dans l'Océan.

La planche XVI est la *Carte géologique de l'Europe et d'une partie de l'Asie et de l'Afrique* , avec les divisions adoptées par M. Boué , dans sa carte du globe.

La planche XVII est le premier essai d'une *carte géologique de l'Europe, y compris la constitution minérale du fond des mers*, d'après les faits et les analogies les plus probables. Pour saisir la liaison générale des formations ainsi que leur morcellement postérieur, la connaissance géologique du fond des mers est indispensable.

La planche XVIII offre les *bassins géologiques de l'Europe*, en omettant leurs canaux de communication, abstraction utile à concevoir.

La planche XIX présente les grands *bassins géologiques de l'Europe*, en omettant les plus petits bassins et restaurant certaine digues de séparation démantelées dans la nature.

La planche XX offre les principaux *bassins géologiques de l'Europe et l'ossature fondamentale de l'Europe*. Cette dernière forme trois grands crochets tournés vers l'Occident, ce que l'auteur voudrait peut-être lier en partie aux mouvements des courants à diverses époques.

La planche XXI représente la *digue géologique démantelée de l'Europe méridionale dans un état de restauration*, avec ses deux grands canaux latéraux, où les eaux ont joué si longtemps un rôle important.

La planche XXII figure les *sillons géologiques tertiaires de l'Europe*, et donne une idée de la figure du continent à cette époque où il y avait nombre de mers intérieures, de détroits et de canaux d'écoulement, maintenant à sec.

La planche XXIII doit donner une idée de la *forme des cavités géologiques et de leurs pentes en Europe*, lorsqu'on suppose enlevées toutes les formations postérieures au lias. Les couches inclinent en général, vers le fond de ces grandes concavités.

La planche XXIV est la *carte géologique du globe*, du Dr Boué.

La planche XXV doit présenter seulement la *distribution générale des schistes cristallins et des roches granitoïdes sur le globe*. Or, ces formations se trouvent surtout sur les bords des continents vers les grands océans, ainsi qu'autour des pôles, et elles forment les noyaux des grandes terres.

La planche XXVI est la *distribution générale et unique des formations primaires (intermédiaires) sur le globe*. Ces formations paraissent se trouver principalement dans la partie boréale de la zone tempérée. Elles diminuent vers l'équateur et remplissent dans la zone tropicale de petits bassins isolés dans ces montagnes. Tel est l'état de nos connaissances, du moins à ce moment.

La planche XXVII est la *distribution des formations secon-*

daïres du globe. Ces dernières semblent se trouver principalement dans la partie horizontale de la zone tempérée et remplir des bassins moins considérables dans les autres régions du globe.

La planche XXVIII est la *distribution générale des terrains tertiaires sur la terre*. Ces formations remplissent deux longs sillons bifurqués dans le sens des parallèles, ce qui peut être en quelque rapport avec les mouvements généraux des eaux du globe.

La planche XXIX est la *distribution générale des dépôts volcaniques sur le globe*. Ces dépôts forment deux grandes lignes : l'une, suivant les bords de l'océan Pacifique, court dans le sens des méridiens, tandis que l'autre va dans le sens des parallèles, d'où résultent deux cercles s'entrecoupant perpendiculairement. En outre, dans chaque espace intermédiaire, il y a des volcans centraux. Un pareil arrangement symétrique ne doit-il pas être en harmonie avec certaines lois qui régissent l'intérieur de notre planète ou avec certains agents qui la vivifient ?

La planche XXX est la *carte géologique du globe y compris les fonds des mers*, d'après les analogies : c'est un *essai* hardi et nouveau qui sera peut-être difficilement accepté ; mais il faut un commencement à tout. Le lit des océans appartient autant au géologue que le lit des rivières ; il faut que son œil y pénètre, coûte que coûte. C'est ainsi seulement que la théorie des affaissements pourra être prouvée, que les anomalies du niveau des mers seront expliquées parfaitement dans tous les temps, et qu'on pourra décider si les océans ont changé de place et de quelle manière ces changements ont eu lieu.

La planche XXXI est la *représentation des bassins géologiques du globe*, en omettant leurs canaux de communication.

La planche XXXII est la *même représentation des grands bassins*, en omettant les plus petits et restaurant les digues de séparation. L'auteur a toujours en vue de rendre ainsi sensibles à l'œil les états passés de la surface terrestre.

La planche XXXIII est la *figure des cinq énormes bassins géologiques du globe*, savoir : les deux bassins océaniques du N. et du S., le bassin indien et les deux bassins atlantiques du N. et du S. C'est encore une abstraction utile à voir sur le papier. Il est sous-entendu que dans les grandes bandes de formations inférieures ou anciennes il se trouve des bassins remplis de dépôts supérieurs ou postérieurs, et que dans les formations supérieures il y a des pointements ou des îlots des terrains inférieurs ; mais ces détails omis ne changent rien à notre abstraction générale.

La planche XXXIV est la *représentation géologique du bassin atlantique du N.* ; la planche XXXV figure le *bassin atlantique du S.* ; la planche XXXVI, le *bassin indien* ; la planche XXXVII, le *bassin océanique du S.* ; la planche XXXVIII, le *bassin océanique du N.* ; la planche XXXIX, les *bassins autour du pôle boréal*. Dans ces six figures ou formes géométriques le trou du bassin est indiqué par une couleur plus foncée , et d'après l'inclinaison des bassins il ne se trouve pas à leur centre , ce qui est bon à remarquer. Les bords des bassins sont ponctués de rouge.

Enfin la planche XL est la *représentation de la position des bassins autour du pôle austral*. Le massif, s'isolant entre la rencontre des trois bassins du S., motive l'existence des terres australes et aurait pu les faire supposer avant qu'on les découvrit. Il serait possible , par les directions des canaux de communication des trois bassins , dit l'auteur , que le noyau central de ces terres eût à peu près la forme indiquée sur sa carte par la couleur foncée.

En résumé , ce travail forme un beau tout sur les bassins et a pour but de faire entrer plus en ligne de compte , dans la théorie géologique des formes du terrain , le facteur important des mouvements et des effets des eaux des mers. On attribue trop aux soulèvements et affaissements ; il faut aussi céder quelque chose à Neptune. Ainsi, les massifs ou continents soulevés ou affaissés présentent certaines formes qui ont été façonnées par ce puissant dieu , et qui se distinguent des formes produites par des mouvements de bascule , de renversement , d'affaissement ou même de lavage fluvial. Ainsi, par exemple, les escarpements de toutes les cimes principales de l'Ecosse et de l'Angleterre font face au N.-E., sans qu'on entrevoie le rapport de cet accident orographique avec les soulèvements éprouvés par ces chaînes ; tandis que , vu la direction du grand courant atlantique , ces érosions , comme le mouvement de certaines baies profondes, pourraient s'expliquer par l'action des eaux exercée avant l'émersion des parties élevées de ce continent. Du côté du N.-E. il y aurait eu érosion et éboulement ; le versant opposé , au contraire , en aurait été préservé et aurait conservé pour cela des pentes plus douces ou seulement échancrées. D'une autre part, cette action marine nous est confirmée par le contraste frappant des deux rivages écossais et anglais, savoir : à l'E., de vastes pays plats ou de petites hauteurs , et à l'O., des bords maritimes escarpés , ce qui est précisément l'opposé de ce qu'on observe aux sommets des chaînes. Or, l'explication en est aisée à trouver. Avant le soulèvement des chaînes le grand courant ne trouvait que peu d'obstacles à son cours dans les parages

britanniques , tandis qu'actuellement des digues énormes s'opposent à son libre passage et diminuent sa force à l'E. en l'obligeant à entamer toujours davantage la côte occidentale. Des raisonnements analogues peuvent être faits sur le continent scandinave et l'Oural , sur les chaînes du nord germanique , comme sur les bords de la Méditerranée actuelle et de celle qui a battu, à l'époque tertiaire, les deux pieds des Alpes et des Balkans. Si les soulèvements et affaissements ont motivé ces contours orographiques et hydrographiques , le lavage des eaux , leurs courants et leurs alluvions , les ont modifiés et ciselés. C'est aux géologues à faire la part de chacun de ces événements.

M. Viquesnel donne lecture de la lettre suivante qui lui est adressée par M. Boué :

Sommaire des travaux d'une Société nouvellement formée à Vienne (Autriche) sous le titre de Société des sciences naturelles et physico-chimiques (séances du 27 avril au 21 septembre 1846.

Vous savez que l'hiver passé un bon nombre d'amis des sciences naturelles ont voulu établir une Société des sciences naturelles et physico-chimiques. Les statuts de cette Société libre ont été esquissés à peu près sur le modèle de ceux de la Société géologique de France et d'autres associations analogues. Ils ont été soumis au gouvernement par MM. Ettingshausen, Haidinger et Schrötter. Malheureusement MM. Endlicher et de Hammer s'étaient mis à la tête d'une Société sur un plan plus vaste , embrassant toutes les sciences en général ; malgré nos observations ils ont persisté et entraîné à leur suite nombre de savants et de littérateurs. Le gouvernement a donc reçu en même temps deux projets de statuts assez différents : il y a répondu par le décret d'une Académie des sciences naturelles et historiques : un fonds de 100,000 fr. lui a été alloué : l'archiduc Jean a été nommé curateur ; mais les nominations des quarante membres ne sont attendues que pour cet hiver. La moitié seule en sera soldée , dit-on ; le président et le secrétaire le seraient grassement ; tels sont les bruits , trop vagues pour qu'on puisse s'y fier.

Quant à notre Société , nos chefs de file , loin de se décourager , ont fort justement entrevu que , l'Académie dût-elle même fleurir , une association plus générale ne devenait pas superflue , témoin

ce qui se passe dans d'autres capitales. Des amis des sciences naturelles, des jeunes gens, ont continué à se rassembler chaque semaine au Musée des mines et à lire des mémoires dont les extraits se trouvent dans la *Gazette de Vienne*. Après cet essai de six mois et ses fruits, il y a tout lieu de croire que le gouvernement reconnaîtra cette Société, à moins qu'elle ne fasse apporter des modifications notables au projet d'une Académie. Comme la *Gazette de Vienne* n'est guère à la portée des savants, et que ces protocoles des séances offrent quelques faits nouveaux, j'ai pris la liberté de faire l'extrait géologique suivant des séances depuis le 27 avril jusqu'en septembre 1846.

Le 27 avril, M. de Hauer fils a exposé les résultats d'un examen rigoureux d'un assez bel échantillon du cabinet impérial, où un gros *Orthocère* (*O. alveolaris* de Quenstedt) se trouve réuni à une espèce nouvelle d'Ammonite, de la famille des *Arietes* de Buch, dans un calcaire rouge de la contrée des salines de Hallstadt (Haute-Autriche). MM. de Buch et Zippe ont eu tort d'y voir une curiosité artificielle en 1842 (*N. Jahrb. f. Min.* 1843, p. 188); un fragment seul de l'échantillon était recollé avec de la cire rouge, ce qui n'empêche pas que le tout ne forme une seule masse, fait maintenant bien avéré et reconnu sur une foule d'autres échantillons de Hallstadt, Aussée, Hallein, Adneth, etc.

Les 4 et 11 mai M. Fred. Simony a parlé sur les traces des glaciers anciens des Alpes de la Haute-Autriche et sur l'état actuel du glacier du Dachstein, en en soumettant à la Société de jolis dessins. Il a reconnu les indices des glaciers disparus jusqu'à un certain niveau et jusqu'à une certaine distance dans des rochers moutonnés, dans des moraines et dans des blocs erratiques. Il cherche à établir qu'au moins les glaciers du Dachstein, du Prielgebirge et du Höllengebirge se sont étendus jusqu'aux vallées principales les plus voisines.

Dans les glaciers du Dachstein il distingue celui du grand Carls-Eisfeld, celui du Todten-Schnee et celui de Gosau, glaciers qui couvrent 3,000 *Joch* (arpents). Ces glaciers sont alimentés par les hautes plates-formes qui sont dans la limite des neiges éternelles et au-dessus, en particulier dans la portion orientale du Dachstein. La terrasse la plus élevée a 8,400 pieds de hauteur absolue, et occupe 400 arpents. Il décrit ensuite les différents états d'agrégation des masses des glaciers. Quelque petite que soit l'inclinaison des pentes du sol sous-jacent, tous les champs de neige ont une tendance à descendre ou à être poussés en bas par suite des lois de la pesanteur, et ce phénomène a lieu *en hiver*

comme en été. Il en est de même pour les glaciers. Notre géologue donne des détails sur la forme du terrain sous la ligne inférieure du *firn* ou neige durcie à environ 7,500 pieds, sur les crevasses et brisures de cette neige et de la glace, sur leurs gouffres et cata-ractes d'eau. Il a remarqué sur les surfaces planes du névé des entonnoirs cratériformes de 100 pieds de diamètre. D'après les observations de cinquante ans, le glacier du Dachstein croît annuellement de quelques pieds par sa terrasse inférieure du Carls-Eisfeld, tandis qu'il augmente aussi en élévation. Dès qu'il aura pu dépasser sa barrière rocheuse actuelle de 10 toises de hauteur, il n'aura besoin que de trente à cinquante ans pour atteindre le lieu nommé Taubenkar, qui n'en est qu'à $\frac{3}{4}$ de lieue et qui porte des traces évidentes d'un ancien glacier disparu. Une tradition du pays place au lieu du glacier de Hallstadt la prairie alpine ensorcelée (*teverwunschene Alm*). Cette tradition, réunie à d'autres semblables du Salzbourg et du Tyrol, ferait soupçonner que depuis les derniers temps géologiques l'Europe a éprouvé, au moins trois fois déjà, un changement dans ses rapport de température.

Le même M. Simony, étayé par le prince de Metternich, a commencé un relevé soigné et détaillé de tous les lacs de la Haute-Autriche et du Salzbourg, en joignant à ses observations des cartes indiquant leur profondeur, leurs formes par des coupes et leur aspect. Il a commencé par le lac de Hallstadt, en grande partie bordé de montagnes rocailleuses et escarpées comme le lac de Wallenstadt en Suisse. Ce lac, occupant 2,414,400 toises carrées, a une largeur moyenne de 552,5 toises, sur une longueur de 4,370 toises; sa plus grande profondeur est de 66 toises. Ses bords escarpés ont souvent 20 à 50 toises de hauteur verticale. Son fond est une surface régulière presque plane, qui ne remonte insensiblement que vers l'entrée du Traun. Cette rivière, ainsi que les torrents de Waldbach, Muhlbach, Gosau et Zlanbach, y ont formé des cônes d'alluvion inclinés sous un angle de 30 à 35° à leur confluent, et plus en avant sous un angle moindre.

M. Liebener a décrit le Brandisite, nouvelle espèce minérale micacée du mont Monzoni Fassa, où il accompagne le Pléonaste. M. Loëve s'occupe de son analyse.

M. Louis K. Schmarda a lu un Mémoire sur l'influence de la lumière sur les infusoires, après avoir rappelé qu'il avait reconnu, avec d'autres naturalistes, que beaucoup d'infusoires vivent et naissent dans des lieux obscurs (suivant nos sens), mais qu'ils se développent mieux à la lumière, et que les animalcules verts de

la matière de Priestley ne se produisent qu'à la lumière. (Voyez son Mémoire dans les *Annales de médecine de l'Autriche*, 1845, cah. 12.)

M. J. K. Hocheder communique le contenu d'un Mémoire de M. Virgile de Helmreichen sur les gîtes du diamant au Brésil et leur exploitation dans la Serra do Grão-Mogor, province de Minas-Geraes au Brésil (entre 16 et 17° lat. S. et 46 et 47° longitude O. de Paris). L'Itacolumite diamantifère y est exploité à ciel ouvert sur 3 lieues d'étendue, de Patieiro à Taquara, et sur une largeur de 1 à 2 lieues. On y distingue çà et là jusqu'à huit couches d'Itacolumite à diamants, chacune de 3 à 4 toises d'épaisseur et 15 toises de longueur. Ces quartzites sont blancs, rouges ou jaunes et ont souvent l'apparence d'un agglomérat. Les premiers diamants furent trouvés par un nègre en 1827. Un échantillon de 7 1/3 carats fut découvert en 1836. Les diamants sont entourés d'une croûte plus tendre que le reste de la roche, masse quelquefois mêlée aussi de mica vert ou rougeâtre. Ce Mémoire a été publié depuis à Vienne sous le titre de *Über das Vorkommen der diamanten*, avec des planches et des détails statistiques. L'auteur, M. Helmreichen, s'est rendu du Brésil au Pérou, et restera encore quelques années absent. Une partie de ses nombreuses collections géologiques est déjà arrivée au Musée impérial de Vienne.

Le 25 mai M. le capitaine Streffleur a donné ses idées sur le relief de la chaîne voisine de Vienne et l'origine du Wienerwald-Gebirge.

M. Schmarda montre des figures de neuf nouveaux Infusoires polygastres. M. de Hauer fils a indiqué l'utilité du *Wasserglass* de M. Fuchs pour attacher, ou fixer et durcir, par enveloppement surtout, les restes organiques, dont plusieurs sont sujets à se détériorer ou à tomber en poussière à la longue. Le *Wasserglass* est une préparation siliceuse gélatineuse au moyen du carbonate de potasse.

M. Haidinger a parlé sur une loupe dichroscopique et l'état de polarisation de la lumière colorée réfléchie.

M. Simony a discuté les causes des taches, dites de pluie, sur la surface des lacs alpins. Il apparaît sur ces derniers, tantôt tout à coup, tantôt petit à petit, des taches rondes, ovales ou à bords ondulés, où l'eau prend une couleur noire verte et un aspect huileux. Leur dimension varie de quelques pieds à plusieurs centaines de toises. L'auteur croit que leur formation est liée à des effets de différents courants d'air, ces derniers variant beaucoup

sur les lacs des Alpes. Ces taches seraient sur l'eau ce que les groupés isolés de cumulus sont dans l'air.

M. Haidinger a proposé d'entreprendre, par une souscription individuelle annuelle de 50 francs, l'impression de Mémoires in-4° avec planches sur les sciences naturelles. Cette proposition est adoptée, et déjà maintenant, grâce à bon nombre de souscripteurs, un Mémoire sur l'optique minéralogique, par Haidinger, est imprimé; chaque année on espère compléter un volume. Le titre est : *Naturwissenschaftliche Abhandlungen gesammelt und durch subscription herausgegeben von W. Haidinger* (Mémoires sur les sciences naturelles, recueillis et publiés par W. Haidinger). Cet ouvrage servira d'organe à la Société en même temps qu'un Bulletin contiendra le rapport des séances.

M. A. Morlot a expliqué deux profils des couches de Teisendorf (Bavière orientale), couches composées de calcaire à Nummulites, de grès vert, de calcaire et de grès et marne à Fucoides. Dans ce lieu, les roches à Fucoides sont sous celles à Nummulites, ce qui est l'inverse des positions en Suisse et indiquerait un renversement. Dans ce dépôt se trouve un agglomérat très grossier, qui renferme, outre des échantillons de toutes les roches des Alpes, des fragments granitiques fort gros. C'est le pendant de ce qui se voit au Bolgen, près de Sonthofen, et aurait induit en erreur MM. Murchison et Sedgwick, qui auraient voulu y trouver du granite et du gneiss en place.

M. Franz de Hauer a montré divers fossiles découverts dans le calcaire secondaire des Alpes de Vienne, près de Moedling; ce sont des *Lithodendron* ou Caryophyllies, des portions d'Encrines, une grande Térébratule lisse, fort semblable à la *T. perovalis*, plusieurs Limes, une Huître, etc. Tous ces fossiles, si rares dans nos climats, auraient, suivant M. de Hauer, le caractère jurassique.

M. Haidinger a parlé sur des métamorphoses du fer hydraté brun en fer oxydé rouge. D'après lui, les dépôts de fer hydraté brun, de fer spathique, de fer oxydulé et de fer oligiste, formeraient, sous le rapport de la métamorphose, une série catogène, semblable à celle des substances végétales suivantes : la tourbe, le bois flotté, l'humus, le lignite, la houille des Alpes, la houille ancienne, l'anthracite et le graphite.

Le 8 juin, M. Hammerschmidt a parlé sur la propriété de quelques coquilles de changer de couleur dans l'eau. Il a montré ensuite un Coléoptère de l'ordre des Hétéromères, de la sous-division des Vésicants, et de la grandeur du *Lytta vesicatoria*, dans un morceau d'ambre.

M. Morlot expose des considérations sur le métamorphisme, dans lequel il distingue une métamorphose latente et une métamorphose inverse, c'est-à-dire que certaines roches ne paraissent pas seulement modifiées par le contact de masses éruptives, mais encore par un travail intérieur particulier, tandis que d'autres roches sédimentaires modifiées ont déterminé par leur nature le produit final de la métamorphose.

M. le docteur Schmarla a donné des détails sur la distribution des animaux invertébrés sur les bords septentrionaux de l'Adriatique.

M. Haidinger a montré la distribution particulière des couleurs dans l'améthyste.

Le 15 juin, M. le docteur M. Hörnes a soumis à la Société un Coup d'œil sur les Mammifères fossiles du bassin viennois, au nombre de vingt espèces, savoir : *Ursus spelæus*, *Hyaena spelæa*, *Cricetus vulgaris*, *Elephas primigenius*, *Mastodon angustidens*, *Dinotherium giganteum*, *medium* et *Cuvieri* K., *Rhinoceros tichorhinus*, *Acerotherium incisivum*, *Paleotherium aurelianense*, *Anthracotherium vindobonense* (Parsch), *neostadense* (Parsch), *Equus fossilis*, *Hippotherium gracile*, *nanum*, *Palæomeryx Kaupii* (Meyer), *Cervus megaceros*, *Phoca vitulina*, *Halitherium Christolii*. La plupart de ces restes, conservés dans le musée impérial, proviennent des alluvions anciennes, des lits de grès dans l'argile tertiaire de Vienne ou du calcaire à Polypiers, qui lui est supérieur. Ce dernier contient encore nombre d'espèces indéterminées, car le Leithagebirge, leur gîte principal, n'est à la porte de Vienne, comme Montmartre, que depuis deux mois, par le chemin de fer allant en Hongrie. Maintenant les Viennois n'ont plus d'excuse pour laisser un pareil trésor enfoui.

M. le professeur Leydolt a parlé sur la formation de la pegmatite, et M. F. Simony sur l'origine des cavernes dans les calcaires stratifiés. Il distingue les grottes en celles qui sont d'une origine primitive et en celles qui sont d'origine secondaire. Les premières auraient été formées par des effets plutoniques, des gaz ou des glissements, tandis que dans les autres il n'y verrait que l'effet très lent de l'eau et des agents atmosphériques.

Le docteur Langer a lu un Mémoire sur la structure différente des os des animaux observée au microscope.

M. Franç. de Hauer vient de publier, aux frais du prince de Metternich, un ouvrage sur les Céphalopodes fossiles de la Haute-Autriche (*Palæontologische-Beiträge*, n° 1 *die Cephalopoden des Salzkammergutes*), Vienne, 1846, in-4° de 48 pag. avec 10 pl.

dessinées et lithographiées par l'élève des mines M. Éd. Pöschl.

Voici les espèces qu'il y décrit :

A. AMMONITES. 1° *Ammonites Metternichii*, superbe espèce, quelquefois fort grande, jusqu'à 25 pouces de diamètre. Elle se rapproche pour la forme de l'*A. discus* (Sow.), des *A. Coynarti* et *Lynx* de d'Orbigny. Il forme le type d'une nouvelle famille des Ammonées. Il se trouve réuni sous le même échantillon de véritables Orthocères et des Bélemnites. Il provient de Hallstadt.

2° *A. neojurensis*. (Quenstedt), de Hallstadt; 3° *A. debilis*, de la famille des Hétérophyllics de d'Orbigny, de la même localité; 4° *A. galeatus*, voisin du *A. Gaytani* (Klipstein); 5° *A. galeatus* (?); ces deux dernières d'Aussee; 6° *A. subumbilicatus* (Bronn) d'Aussee; 7° *A. amœnus*, peut-être un passage de l'*A. Lynx* et *Coynarti* à l'*A. Metternichii*; 8° *A. Kamsaueri* (Quenstedt), voisin de l'*A. infundibulum* (d'Orb.), belle espèce de Hallstadt; 9° *A. angustilobatus*, voisin de l'*A. sternalis* (de Buch), de Hallstadt; 10° *A. tornatus* (Bronn), de Hallstadt et Aussee; 11° *A. bicrenatus*, voisin du *bipunctatus* (Quenstedt), avec le *Monotis salinaria* (Br.), à Hallstadt; 12° *A. salinarius*, espèce commune et associée avec l'*Orthoceras alveolaris* (Quenstedt), à Hallstadt, à Adneth, etc.; 13° *A. Johannis Austriae* (Klipst.), d'Aussee; 14° *A. discoides* (Ziethen), de Hallstadt; 15° *A. respondens* (Quenstedt); 16° *A. bicarinatus* (Munster); 17° *A. angustatus* (Bronn).

B. GONIATITES. 1° *G. decoratus*, voisin du *G. iris* (Klipst.), de Hallstadt.

C. CLYMENIA.

D. NAUTILUS. 1° *N. mesodicus* (Quenstedt), voisin du *N. giganteus* (d'Orb.), de Hallstadt; 2° *N. reticulatus* (dito); 3° *N. acutus*, voisin du *N. triangularis* (Montfort), et d'autres espèces douteuses.

E. ORTHOCERAS. 1° *O. alveolaris* (Quenstedt); 2° *O. latiseptatum*, voisin de l'*O. bacillum* (Eichwald), de Hallstadt; 3° *O. salinarium*, voisin de l'*O. striatum* (Sow.), de Hallstadt; 4° *O. regulare*; 5° *striatulum salinum*, de Hallstadt.

F. BELEMNITES de Hallstadt. Espèces comparables, jusqu'à un certain point, avec *B. hastatus* et *unisulcatus* (de Blainville).

Tous ces fossiles sont réunis dans les mêmes assises, couches et roches calcaires blanches, grises ou rouges, qui avoisinent les dépôts salifères. Quelle est la place géologique de cette réunion de fossiles, qui offusque tant nos paléontologues de cabinet et des champs? Lill les rapprochait du Jura, Bronn du lias, malgré les fossiles à aspect intermédiaire. Quenstedt vient de reproduire mon idée de

1830, que ces roches pourraient être supra-jurassiques ou du néocomien. Pour les amateurs du primaire on trouve les Orthocères, les Clyménies, les Goniaticites; pour les liasiques ou jurassiques, les *Ammonites salinarius*, *discoïdes* et *bicarinatus*; pour les néocomistes, les Nautilus, les Bélemnites, les Ammonites de la famille des Hétérophylles. C'est donc, comme le dit fort bien M. de Hauer, un cas qui nous ramène positivement à la géologie de superposition pure et simple et sans zoologie, marche rationnelle qui seule peut nous sortir des brouillards théoriques, et qui a pour elle, si ce n'est les premiers géologues anglais, du moins les sommités des géologues français et allemands. Les masses calcaires anormales reposent sur un épais dépôt de calcaire compacte gris à Isocardes et à Ammonites; mais au-dessous de ce dernier on ne connaît guère jusqu'à présent qu'un assemblage de schistes rouges semi-arénacés, des grauwackes entre Werfen et Liepzen. Or, cette année, M. de Hauer a décidé l'âge de ces derniers dépôts par la découverte de fossiles intermédiaires d'espèces identiques à celles trouvées à Beraun en Bohême et dans d'autres lieux primaires. Ce sont des Orthocères, le *Cardium priscum* de Goldf., et diverses petites Bivalves, fossiles changés en fer sulfuré comme certaines pétrifications du Nassau. M. Erlach les a découverts à Dienten, au S.-O. de Werfen, près de bancs exploités de fer spathique. Il n'y a pas là de mélange anormal de fossiles. Ce serait du bel et bon silurien supérieur, exemple unique jusqu'ici sur le versant N. des Alpes. Ce terrain primaire y sera probablement reconnu sur une grande étendue; car du côté de l'O. il formerait une bande plus ou moins continue, ou effacée, ou métamorphosée au S. des Alpes calcaires secondaires du Tyrol (surtout près de Kitzbachel), tandis que vers l'E. il s'étendrait de Liezen vers Eisenärz et dans la vallée supérieure du Mürz, en n'y étant séparé que par une bande étroite de schistes cristallins d'avec l'amas considérable de monts primaires coquilliers à l'O. de Gratz en Styrie. Déjà M. de Hauer soupçonnerait aussi dans ces Alpes d'Eisenärz, etc., la présence du dévonien à cause de certains schistes et grès rouges à fossiles particuliers. D'une autre part, sur le versant S. des Alpes orientales, M. de Hauer n'a pas de peine à retrouver à Bleiberg à peu près la même suite de dépôts, savoir : 1° des grauwackes à Trilobites, *Productus*, etc.; 2° des grès rouges; 3° un calcaire gris à Isocardes; 4° le calcaire à Céphalopodes auquel appartient le marbre opalin coquillier de Bleiberg. Ce dernier offre des *Ammonites Johannis Austriæ*.

Le 22 juin, M. Löwe a donné à l'analyse des Jamesonite et Berthierite; il a analysé le Jamesonite, et M. Jean de Pettko, professeur de minéralogie et de géologie à Schemnitz, le Berthierite. Il fait remarquer la ressemblance du gîte de ces minerais, d'un côté à Carcassonne et à Port-Vieux, et de l'autre à Arany-Idka (Hongrie supérieure), où le Jamesonite est argentifère et aurifère comme en France.

Le docteur Rich. Comfort a donné un classement des races humaines, qu'il voudrait réduire à trois.

Le docteur Hammerschmidt parle sur la vie dans les cellules des végétaux, et le docteur Reissek sur les rapports d'animalcules séminaux dans les plantes.

Le docteur Zipser a annoncé avoir perdu toutes ses collections par un incendie et ne pourra de longtemps fournir des minéraux et des roches. Il envoie aussi son compte-rendu de la réunion des naturalistes hongrois à Neusohl le 4 août 1842.

M. de Kudernatsch a exposé ses idées sur l'existence d'anciens lacs dans la Styrie supérieure dans les temps géologiques et historiques. Ces lacs ont laissé des traces manifestes de leur séjour; une partie ont des fonds tertiaires et sont remplis de grès à lignites ou bien d'alluvions.

M. le docteur de Ferst a parlé sur le coral-rag en Basse-Autriche, au N. du Danube, et y a cité les fossiles suivants : *Tragos patella* (G.), *Lithodendron*, *Apiocrinites mespiliformis* (G.), *Cidarites glanduliferus* (G.), *Terebratula lacunosa* (Bronn), *alata* (Brong.), *perovalis* (Brong.), *Diceras arietina* (L.), *Pterocera Oceani* (Br.), et des Nérinées.

Haidinger a donné des détails sur un ouragan de grêle à Gratz le 1^{er} juillet 1846. De très gros grêlons sont tombés; quelques uns avaient 2 pouces de diamètre.

Le 13 juillet, M. J. Czjzek a décrit et indiqué les nombreux dépôts de bois bitumineux et de lignites tertiaires dans la partie méridionale du bassin de Vienne.

Le docteur Botzenhart a donné ses observations sur les cristallisations de la glace, et le docteur Comfort sur les races chevalines.

Le 20 juillet, M. Kudernatsch a lu un Mémoire sur la détermination de la quantité de carbone dans le fer brut.

M. Streffleur a parlé sur les courants des mers et leur salure, ainsi que sur les formations ignées.

Le docteur Hammerschmidt a recommandé le coloriage des

fleurs par la voie du coloriage lithographique, et au moyen de plusieurs plaques.

M. Schrötter a présenté des observations sur l'état moléculaire de la matière, en donnant pour exemples des recherches sur l'oxyde de chrome et l'acide arsénique.

Le 3 août, M. Leydolt a lu un Mémoire sur la structure macliforme remarquable de l'ankérite, et le 10 août, M. Otto de Hingenau a donné ses observations géologiques sur les environs de Tuleschitz, cercle de Znaim, en Moravie, district de roches schisteuses cristallines et de granite. Le 17 août, le docteur Hörnes a décrit les échantillons remarquables de la collection de minéralogie de madame de Henikstein.

M. H. M. Schmidt-Goebel, de Prague, a donné des détails sur la distribution géographique des animaux et des plantes de l'Indostan septentrional et oriental, en offrant la première livraison de l'ouvrage posthume du docteur J.-W. Helfers sur ces contrées. (*Docteur Helfer's hinterlassene Sammlungen aus Vorder und Hinter Indien.*)

M. Streffleur a donné une idée de son Essai intitulé : *Origine des continents et des chaînes par l'influence de la rotation*, Vienne, 1846, in-8°.

M. Fr. de Hauer a fait une communication sur les couches tertiaires de Guttaring et Althofen, en Carinthie : ce sont des marnes à lignites recouvertes de calcaire à Nummulites et reposant sur des schistes cristallins. Les fossiles recueillis lui confirment notre classement de ce dépôt dans l'étage inférieur ou éocène (voy. *Mém. Soc. géol. fr.*, 1^{re} série, v. II, p. 84) ; ce sont : le *Mytilobates goniopleurus* (Ag.) ; des restes de crustacés ; *Natica intermedia* (Lam.) ; *Turritella*, voisine du *T. imbricataria* (Lam.) ; *Fusus scalaris* (Desh.) , *Cerithium combustum* (B.) , *lamellosum* (Desh.) , *mutabile* (Lam.) ; *Serpula nummularis*, etc. Il y a aussi la *Corbula crassa*. C'est le seul point de la monarchie autrichienne (excepté Ronca) où l'éocène aurait été reconnu jusqu'ici. Cependant on connaît un *Fusus scalaris* du lignite de Gran (Hongrie).

Mohs ayant laissé en Autriche de nombreux élèves, on y est encore très engoué de son système, qui ne voulait pas voir tous les côtés de la science : aussi M. Pettko a-t-il donné ses raisons pour admettre les propriétés chimiques des minéraux en minéralogie, ce qui pourra paraître déjà ancien dans l'O. de l'Europe.

Le 31 août, M. R. Kner de Léopold a montré un *Cephalapsis* dans des roches arénacées siluriennes de la Gallicie orientale. On

n'avait su longtemps que faire de ces fragments ; il a découvert enfin un *échantillon complet*, ce qui est un nouvel avis pour éviter la précipitation avec laquelle certains savants défendent à tel ou tel genre d'animaux de ne pas paraître dans tel ou tel étage inférieur ou supérieur de telle ou telle contrée. C'est peut-être le *Cephalapsis Lloydii* d'Agassiz.

M. Jean de Pettko a parlé sur les passages des roches trachytiques entre elles et sur le cône basaltique d'Ostra-Hora, s'élevant du milieu du grès tertiaire à lignite de Tastraba, près de Kremnitz (Hongrie). Il part de ce cône une coulée de 2 lieues de long et de peu de largeur ; elle repose sur le sol tertiaire et a été coupée par la vallée de Kremnitz, qui serait ainsi une vallée d'érosion, au moins pour sa moitié inférieure. Le même auteur a donné ses idées sur les systèmes cristallins et l'admission de formes fondamentales parallélipèdes.

M. Breithaupt annonce sept nouvelles espèces minérales, savoir : le Plinien, pyrite arsénical d'Ehrenfriedersdorf ; un *Spinellus superius* de Bodenmais (Bavière) ; un Zygadite zéolite d'Andreasberg (Harz) ; un Konichalzte malachite vanadifère et calcaire d'Espagne ; un Castor et Pollux (!) de l'île d'Elbe, transparent comme le quartz et d'une forme ressemblant à celle de ce dernier, quoique pyroxénique. Il contient de la silice, de l'alumine et du lithion ; enfin un sidérodote, fer spathique calcarifère du Salzbourg.

M. Adolphe Patera a donné les résultats de son analyse du *Corallenerz*, cinabre coralloïde d'Idria. Ce sont deux espèces de Gastéropodes à test très épais avec des restes de bivalves. M. Haidinger les avait appelées *Hipponix* dans son Rapl ort sur la collection des mines. Ces tests contiennent une quantité notable d'acide phosphorique.

M. Haidinger caractérise avec G. Rose le péricline non comme une espèce, mais comme une simple variété de l'albite. Il pense que dans l'origine un mélange de feldspath à soude et à potasse s'est cristallisé, et que chacun de ces composés a influé sur la forme ; mais plus tard, pendant que les roches contenant ont été modifiées, le mélange, en plus petite quantité, est sorti des cristaux et s'est placé sur leurs surfaces.

M. Löwe a donné l'analyse du minerai cuivreux d'Agordo. Il est composé de 2 atomes de pyrite cuivreuse et de 3 atomes de fer sulfuré. Par le rôtissage il se forme un noyau (*tazzoni*) de sulfures avec une croûte oxydée sans soufre.

M. Czjzek a dressé une carte géologique fort détaillée des envi-

rons de Vienne. Il y distingue sept dépôts tertiaires sous les alluvions, savoir : 1° l'argile ou *Tegel* ; 2° le grès et calcaire à Cérithes ; 3° les sables à lits d'argile et de gravier ; 4° le calcaire à polypiers du Leitha ; 5° des agglomérats ; 6° des lits de quartzite et de roches cristallines dans des sables ; 7° du calcaire d'eau douce. Au-dessus sont indiqués : 1° le loess ; 2° les alluvions anciennes de grès secondaire, etc. ; 3° les alluvions fluviales.

Le 7 septembre, le docteur Hörnes a donné des détails sur les coupes du sol tertiaire qui ont été exposées par suite des travaux du chemin de fer conduisant de Wiener-Neustadt à Oedenburg, en Hongrie. Ces couches offrent surtout celles au-dessus de l'argile coquillière et bleue de Vienne, et les bancs sablo-marneux fourmillent de beaux fossiles à Mattersdorf, Rohrbach, etc. : ce sont ceux d'Enzersfeld et de Gainfarn ou de Bordeaux.

M. de Hauer fils a parlé sur les *Caprines* et leur place dans le système. Il en a trouvé une nouvelle espèce dans un dépôt de Gosau, soit à Adrigang, près de Grunbach (Basse-Autriche), soit à Gosau même. Quelques individus bien conservés lui ont offert leur *charnière* en bon état ; cette dernière se rapproche beaucoup de celle des Chames et des Dicérates, savoir : la valve inférieure a de très fortes dents, et la valve supérieure deux dents plus petites ; de plus, l'intérieur de chaque valve est séparé en deux par une cloison. L'auteur place les *Caprines* à côté de la famille des Chamides comme M. Deshayes. L'espèce observée se rapproche le plus de la *C. Anguilloni* de d'Orbigny, et a été baptisée *Caprina Partschii*. Le Mémoire entier sera publié avec figures dans les *Naturwissenschaftliche Abhandlungen* de M. Haidinger.

Le 21 septembre, M. Ant. de Wurth a fait un rapport sur la géologie des environs de Parschlug, dans la vallée du Murz, en Styrie ; c'est un bassin tertiaire avec des lignites exploitables.

Le docteur Kner a détaillé les résultats intéressants de ses recherches sur les terrains anciens qui paraissent au fond de plusieurs vallées de la Gallicie orientale et au-dessous de leur revêtement tertiaire. Prenant Zaleszczyk, sur le Dniester, comme centre d'excursions, il a repris les travaux de feu Lill, et a trouvé naturellement des additions à y faire : ainsi le terrain de grauwacke s'étend dans la vallée de Niczlava, etc. De plus, grâce aux travaux récents des paléontologues, il a pu déterminer les espèces de fossiles, savoir : les *Avicules*, *Cyrtocéras*, *Orthis*, *Calymènes*, *Asaphes*, etc. La grauwacke y est recouverte par la craie et le tertiaire, et entre deux se trouve un grès particulier secondaire sans fossiles. Il a

aussi signalé de nombreux Foraminifères dans le tertiaire de Tarnopol.

M. de Hauer fils a donné ses observations sur la distribution géographique des bancs à *Monotis* dans les Alpes autrichiennes. Les *Monotis salinarius*, etc., étaient connus depuis longtemps au-dessus ou autour, si l'on veut, des amas salifères de Hall en Tyrol, de Hallein en Salzbourg, de Hallstadt dans la Haute-Autriche, et d'Aussee dans la Styrie supérieure. Ces bivalves, accolées et opposées les unes aux autres, remplissent des calcaires compactes secondaires, blanchâtres, gris ou rougeâtres. Nos voyages nous avaient démontré dès longtemps (*Journal de géologie*, 1830) que ces couches se prolongent jusque très près du bassin de Vienne; ce fait ne peut se méconnaître quand on parcourt l'intérieur de ces Alpes calcaires, par exemple, entre Steyer, Admont, Eisenärz, Mariazell et Gaming. M. de Hauer vient de le préciser en découvrant les *Monotis* à Spital am Pyhrn, à Neuberg sur le Murz, et enfin à Hörnstein près de Piesting, à 7 lieues S. de Vienne. Probablement il y en a des bandes septentrionales et méridionales, et si la présence de ces fossiles ne doit pas toujours faire présumer le voisinage du sel, elle doit au moins exciter le paléontologue à rechercher les autres couches coquillières qui les accompagnent ordinairement. Ainsi s'expliquent déjà ces Ammonites à Hirtenberg et à l'O. de Gainfarn, parce que ces localités sont voisines de Hörnstein; aussi leurs espèces sont-elles près des salines de Hallein, en Salzbourg, etc., etc. — Ceci me conduit à revenir sur la pauvreté prétendue en fossiles de nos Alpes calcaires.

Comparant leurs masses à celles de l'Alp du Wurtemberg et à celles des collines de l'Oxfordshire, les pétrifications n'y paraissent plus si rares, mais leur conservation est seule fautive, de manière que les Deshayes et les d'Orbigny regarderaient souvent ces reliques plutôt comme des jeux de la nature ou de la matière à mortier que comme des morceaux de cabinet. Dernièrement encore j'ai reconnu dans des lieux négligés des rochers pétris de bivalves et d'univalves, parmi lesquelles au moins quelques genres étaient déterminables, par exemple, des Huîtres, des Térébratules lisses, des Bucardes, etc. Les plantes fossiles du keuper, découvertes dans nos Alpes par Haidinger (*N. Jahrbuch v. Leonhard*, 1846, p. 46), le Saurien de Hieflau, les *Monotis*, certains bancs à Térébratules, d'autres à Polypiers, d'autres à Hippurites ou à Caprines, ou à Nummulites, enfin les pâtés coquilliers de Gosau; voilà des matériaux pour un échafaudage théorique. Or, à présent

que plusieurs jeunes géologues sont à la tâche , et que ce n'est plus tel ou tel tout seul qui arpente nos monts et manie nos rocs, nous allons enfin toucher au but.

M. Joachim Barrande a donné un aperçu de sa *Notice préliminaire sur le système silurien et les Trilobites de Bohême*, Leipsic, 1846, in-8° de 97 pages. Vous connaissez probablement cet opuscule: 600 espèces de fossiles avec de nombreux Nobis, 129 espèces de Trilobites! Souhaitons qu'il publie bientôt ce trésor. Il a dû se hâter, car M. Corda travaille le même sujet. M. Barrande est un homme instruit, et devrait être sur votre liste.

Vous voyez, messieurs, ce que promet cette Société naissante, qui, dans son programme, comprend dans les sciences naturelles l'astronomie, la météorologie, la géographie, la géologie, la minéralogie, la botanique, la zoologie, l'anatomie, la physiologie, la physique, la chimie, et même les mathématiques. Si le gouvernement la laisse marcher, et si elle fleurit à côté d'une Académie, ce ne sera plus un progrès notable, mais une véritable révolution scientifique dans cette capitale. Au milieu d'une nature si belle et si variée, au centre de tant de nationalités diverses, et entourée d'une auréole de voies de communication, auxquelles le fer vient de mettre la quadruple ou cruciforme couronne, on peut hardiment prédire que sur cette large voie Vienne doit devenir et deviendra un vaste carrefour de renseignements et de découvertes pour les sciences naturelles. Or, dans nos temps si neufs, chaque pas fait en avant doit être mûrement pesé; une fois fait, tout retour est impraticable; c'est un fait accompli, une véritable constante de la civilisation du genre humain.

M. Damour, trésorier, présente l'état suivant des recettes et des dépenses de la Société, du 1^{er} janvier au 31 octobre 1846.

Il y avait en caisse au 31 décembre 1845.	958 fr. 25 c.	
La recette, depuis le 1 ^{er} janvier 1846, a été		
de	15,475	35
Total.	16,433	60
La dépense, depuis le 1 ^{er} janvier 1846, a été		
de	14,483	20
Il reste en caisse au 31 octobre 1846.	1,950	40

M. le secrétaire donne lecture de la note suivante de M. Mauduyt :

Un mot sur un morceau de quartz d'une variété particulière, ainsi que sur une substance minérale trouvée dans le département de la Vienne, par M. Mauduyt.

Je dois à l'obligeance de M. Ménard, proviseur du collège royal de la ville de Poitiers, de pouvoir faire connaître à la Société un minéral dont la bizarrerie de formation m'a semblé telle, qu'elle m'a paru digne de lui être signalée; je n'ai donc pu résister au désir de le lui faire connaître, non plus qu'à celui d'émettre mon opinion relativement aux causes qui ont dû contribuer à lui donner cette singulière conformation.

Ce minéral, que d'abord on serait porté à regarder comme un quartz recouvert et pénétré de lames de barytine (baryte sulfatée), n'est qu'un *quartz hyalin thermogène cellulaire ou cloisonné*, dont les cavités sont tapissées de jolis petits cristaux de quartz hyalin limpide.

Cet échantillon, qui provient des terrains de cristallisation ou de soulèvement du département des Deux-Sèvres, dans la commune de la Chapelle-Saint-Laurent, a été extrait d'une carrière nouvellement ouverte au lieu dit *Pas-de-la-Vierge*.

Ces terrains, dont l'apparition à la surface du sol est probablement due aux mêmes phénomènes géologiques qui firent surgir ceux de même nature des départements de la Vendée, de la Vienne et de la Haute-Vienne, durent, lors de leur surgissement, occasionner des perturbations considérables dans le sol environnant, et modifier, même souvent changer de nature, les matières composant ce même sol, et contribuer aussi, à l'aide de dégagements gazeux à la formation de nouvelles substances.

D'après cet exposé et l'examen de l'échantillon (1), je suis porté à croire qu'au moment du soulèvement, il a dû jaillir du sein de la terre des sources d'eau d'une température très élevée, tenant en dissolution de la silice, si abondante à cette époque, telles que celles que l'on connaît encore aujourd'hui en Islande sous le nom de *geyser*, qu'elles déposèrent ensuite, sous forme d'incrustation de stalactites et de stalagmites, sur les matières environnantes; une portion de ces mêmes eaux, contenues dans les cavités des corps

(1) Il se trouve déposé dans le Cabinet d'histoire naturelle de la ville de Poitiers.

par suite de leur évaporation, contribua à la formation de ces jolis petits cristaux qui se remarquent dans les cellules de notre échantillon.

On pouvait peut-être, et avec raison, expliquer la singularité de forme du morceau qui nous occupe au moyen de la théorie du métamorphisme si en vogue aujourd'hui parmi les géologues, en supposant que la *barytine*, dont ce morceau paraît recouvert, a été convertie en *silice* par le contact d'un gaz siliceux, et que le quartz thermogène, qui recouvre et pénètre notre quartz hyalin, n'est qu'une épigénie de baryte sulfatée.

Voici ce que j'avais à dire au sujet de ce joli échantillon; qu'un autre plus exercé et surtout plus habitué que moi à prendre la nature sur le fait et à lui dérober ses secrets vienne vous faire connaître les phénomènes qui ont dû contribuer à donner à notre échantillon la bizarrerie que je viens de vous signaler, j'aurai au moins l'honneur de l'avoir entrepris.

J'ai maintenant à parler à la Société d'une substance que je n'ai pu, quoiqu'elle ne soit peut-être pas inédite, rapporter à aucune de celles décrites dans les ouvrages de minéralogie que j'ai été à même de consulter (1).

Ce minéral, que je nomme montmorilloniste, se trouve près de Montmorillon, en un lieu dit de la Maison-Dieu, où il s'est rencontré dans les argiles supérieures du lias, et dépendant probablement de l'oolite inférieure, ce que jusqu'à présent je n'ai pu constater, vu les circonstances particulières qui m'en ont empêché, mais ce que je me propose de faire incessamment.

Mon fils, pharmacien à Poitiers, sur ma demande, a bien voulu faire l'analyse de cette substance, qu'il a reconnue être un silicate d'alumine de chaux et de magnésie, dont le principe colorant est le cobalt. Sa pesanteur spécifique est de 1,70.

Ce minéral, d'un beau rose, et rarement taché de noir par le peroxyde de manganèse, si abondant dans les environs du lieu où il se trouve, a une texture grenue, et les grains qui le composent sont de deux sortes: les uns d'un rose parfait et d'aspect terreux, entièrement opaques; les autres sont d'un rose tendre, un peu hyalins et de forme arrondie; entre ces parties se remarquent, surtout dans la première, comme des sortes de *vacules*, semblant

(1) Haüy, *Traité de minéralogie*. Brard, *Manuel du minéralogiste*. Vospeguel Beudant, *Traité élémentaire de minéralogie*, édition de 1824. *Manuel de minéralogie*, par Blondeau. *Nouveau Manuel complet de minéralogie*, par Huot, 1844.

indiquer le dégagement de quelques bulles d'air qui aurait eu lieu lors de la formation de cette substance et quand la pâte était encore molle.

Son aspect est terreux, ou plutôt il ressemble à un morceau de savon au toucher ; il en a l'onctuosité.

Sa dureté est peu considérable ; se laissant entamer facilement par l'ongle et couper au couteau , surtout lorsqu'il est humecté , il se polit facilement sous le doigt.

L'odeur de cette substance lui est particulière , n'ayant nul rapport avec celle dite argileuse , ni même avec celle d'aucun minéral connu. Cette sensation , qui se manifeste particulièrement lorsque la substance est mouillée , est aussi très sensible par l'insufflation.

Elle happe légèrement à la langue ; sa saveur est nulle , et elle ne fait point effervescence avec les acides ; mais elle se résout , de même que dans l'eau , en une sorte de pâte qui , au bout de quelque temps , devient en partie gélatineuse.

Exposée à l'air , elle ne s'y délite point ; mais elle s'y durcit , de même qu'au feu ordinaire où elle blanchit en perdant l'eau dont elle était pénétrée.

M. Martins donne l'analyse d'une note de M. De Luc , ayant pour titre :

Mémoire sur la cause du transport des blocs erratiques dans le nord de l'Allemagne , par J. A. De Luc , de Genève.

Il y a deux opinions pour expliquer le transport du terrain erratique : l'une qui l'attribue à des glaces d'une vaste étendue , qui partaient des Alpes et se prolongeaient jusqu'au nord de l'Europe ; l'autre qui l'attribue à des courants de l'ancienne mer produits par quelque grande révolution du globe.

Ce sont les faits bien décrits et dans tous leurs détails qui peuvent résoudre la question entre les deux opinions et décider laquelle s'accorde le mieux avec les phénomènes.

Les principaux faits que je rapporterai sont tirés des voyages de De Luc , publiés à Londres en anglais , en 1810, en 3 volumes. Quoique ces faits soient imprimés depuis longtemps , ils sont inconnus sur le continent et auront le mérite de la nouveauté.

De Luc partit de Berlin en juillet 1804 pour parcourir les côtes de la mer Baltique. Il passa par Strelitz , Malchin , Lages , Ros-

tock , et atteignit la mer à Warnomünde , distant de 50 lieues de Berlin.

Près d'Oranienburg , à 7 lieues au nord de Berlin , au sommet d'une colline , De Luc vit une grande abondance de blocs de roches primitives , surtout des granites. Ces pierres avaient été tirées des champs et servaient de clôtures , placées les unes à côté des autres.

De Luc fit le tour du petit lac Zierkessee , à une petite lieue au N.-O. de Strelitz. Il trouva , sur le côté oriental , un grand nombre de gros blocs et d'autres pierres plus petites , principalement de granite. En passant par-dessus la colline , vers le côté occidental du lac , il descendit dans un vallon où il trouva un grand nombre de blocs granitiques. Il s'approcha d'une colline élevée qui formait un promontoire dans le lac ; il monta à son sommet , qui est coupé à pic du côté du lac. Le côté très rapide par lequel il monta était jonché de gros blocs de granite.

En partant de Strelitz , De Luc tourna l'extrémité N.-E. du lac et alla jusqu'au village de Liepen (1) ; il ne traversa que des sables sans blocs , et même sans petites pierres ; mais en approchant de Liepen , il rencontra des pierres dans le sable , et lorsqu'il eut traversé le vallon et qu'il montait la colline vis-à-vis , il commença à observer des blocs ; leur nombre allait en augmentant , et enfin il arriva à un espace tout couvert de gros blocs , d'environ une demi-lieue de longueur. La route passe au travers , mais avec beaucoup de détours , à cause des grands blocs , enterrés en partie , qu'il faut éviter. Ils sont composés de granites de différentes espèces et d'autres pierres primitives. Les blocs continuent sur les collines environnantes avec une si grande quantité de pierres plus petites , qu'il a fallu en débarrasser le terrain et en faire des monceaux pour obtenir seulement un peu de pâturage.

Aux environs de Malchin , petite ville du duché de Mecklembourg Schwerin , située entre deux lacs , près du lac au N.-E. , on arrive à des collines semblables à des pains de sucre ; et quand on les voit du sommet de la plus élevée , le pays paraît un monceau de ruines , ces collines étant toutes jonchées de blocs de granite.

Au N.-O. de Rostock , entre cette ville et la mer Baltique , et près de quatre villages , on voit des espaces de terrain couverts de gros blocs de roches primitives qui , par leur nombre , empêchent de mettre le terrain en culture.

(1) Liepen est à 23 lieues de Berlin et à 25 lieues de la mer Baltique.

Sur la route de Rostock à Warnomünde , sur le côté occidental du golfe , on rencontre d'abord plusieurs blocs épars , surtout de granite; il y en avait de très gros autour du village de Bramow , au-delà duquel il y a un de ces espaces où ils sont trop nombreux pour que le terrain puisse être cultivé. La route est bordée de ceux qu'on a tirés des champs mis en culture. On en voit de nouveau un grand nombre au village de Kleinkeen , et ils continuent jusqu'à Warnomünde , dont le quai est construit de grands blocs de pierres primitives , principalement de granite.

De Warnomünde à Dobberan , à 2 lieues 1/2 au S.-O. , en passant sur des collines basses , le terrain est couvert de blocs. On en voit un grand nombre rassemblés dans trois villages. Ils ont été tirés des champs , lorsque ceux-ci ont été mis en culture ; mais il y a des espaces qui en sont tellement couverts qu'on n'a pas encore pu les en débarrasser , et qu'on n'en fait d'autre usage que pour faire brouter au bétail l'herbe qui croît entre les pierres. Toute la plaine entre les collines et la mer est jonchée de blocs.

En revenant de Dobberan à Rostock par une route plus directe , on traverse d'abord une plaine où l'on observe la même quantité immense de blocs , quoique distribués inégalement.

Les enclos des jardins et des vergers autour du village de Lambrechts-Hagen , à 2 lieues à l'O. de Rostock , étaient formés avec des blocs ; il y en avait aussi le long de la route , et un grand monceau de blocs avait été accumulé près de l'endroit où l'on devait les employer. Cinq hommes , avec des leviers , étaient occupés à en faire mouvoir un vers l'endroit où il devait être placé. Un de ces hommes étant interrogé d'où ils avaient amené toutes ces pierres , il répondit : Elles ne viennent pas de loin , nos terres n'en sont que trop pleines. En effet , je n'avais pas fait bien des pas que j'arrivai à un grand espace qui était tellement couvert de blocs , qu'on ne pouvait en tirer aucun parti pour la culture ; plus loin , j'en rencontrai un très petit nombre ; mais de nouveau j'en vis un grand nombre en m'approchant des collines voisines de Rostock.

De Rostock De Luc va à Wismar et visite l'île de Poel , située au N. de cette ville. On arrive dans cette île par deux ponts , séparés par une petite île. Le premier pont est pourvu d'un pont-levis. En entrant dans l'île , on trouve le village de Fehrdorff , où un grand nombre de blocs étaient accumulés ; plusieurs avaient été employés pour des clôtures. De ce village on va à celui de Timendorff , sur le côté O. de l'île ; on rencontre de nouveau un grand nombre de blocs de granite sur le chemin.

Le côté occidental de l'île est bordé de falaises basses , de 20 à

30 pieds de hauteur, et en avant on voyait une quantité immense de blocs dans la mer, s'étendant à une distance considérable et reposant sur un bas-fond couvert de pierres, de chaque côté duquel l'eau était plus profonde. Je descendis, dit De Luc, sur le rivage composé de ces pierres et de ces blocs ; quelques uns présentaient de beaux échantillons de granite et d'autres pierres primitives. Quand je tournai mes regards vers la falaise, je vis qu'elle était dans le même état que celle qui est près des bains de Dobberan (1) ; quelques blocs projetaient de la partie supérieure , prêts à tomber, et d'autres étaient au pied , encore entourés de la terre et des pierres qui étaient tombées avec eux.

Au printemps, lorsque la gelée a cessé et que les neiges commencent à fondre , de grandes masses de ces escarpements s'éboulent avec les pierres, dont on voit un grand nombre sur toute l'île ; les vagues lavent la terre et vont la déposer autour de l'île , laissant les pierres sur place. L'île s'étendait une fois sur tout l'espace où l'on voit des pierres.

Description de l'île de Rügen , faisant partie de la Poméranie suédoise (2).

Avant de continuer les observations de De Luc , faisons connaître les phénomènes que présente l'île de Rügen , faisant partie de la Poméranie suédoise , et placée directement au midi de la Scanie. Sa forme est très extraordinaire ; elle est composée de quatre parties : d'une grande île, appelée *Rügen propre*, et de trois péninsules , celles de *Wittow* et de *Jasmund* au N., et celle de *Monkguth* au S. Les deux premières sont composées de couches de craie, contenant les silex et les corps marins communs à ces couches. Ces

(1) A l'O. de la maison des bains de Dabberan une suite de collines s'avancent jusqu'à la mer, se terminant par une falaise. En avant de cette falaise on voit dans l'eau une grande abondance de blocs sur un fond de gravier et de quelques grosses pierres. Le sommet de la colline est composé de même de gravier, de pierres plus grosses et d'un grand nombre de blocs. En s'avancant sur le bord escarpé de la falaise on voit des blocs plus ou moins enfoncés dans l'eau ; ils s'avancent dans la mer jusqu'à la distance où la colline s'étendait avant qu'elle fût dégradée par les vagues de la mer.

Devant toutes les falaises qui terminent les collines du côté de la mer, jusqu'à Kiel, on voit des blocs sur le rivage et dans la mer, ils étaient dans le pays.

(2) D'après des descriptions faites par MM. Von Willich et Zöllner, et communiquées à l'auteur.

péninsules sont coupées à pic du côté de la mer, à l'E. ; descendant vers l'intérieur. Leur surface est jonchée de blocs de granite.

L'escarpement de craie de Wittow a 200 pieds de haut, celui de Jasmund en a 360. Il y a des blocs de granite sur la grève de Jasmund. M. Zöllner, de Berlin, fait mention d'un de ces blocs, sur lequel, dit-il, douze personnes peuvent se tenir debout. Les gens du pays disent que les blocs de granite qui sont sur la grève étaient autrefois sur la colline ; mais à mesure que celle-ci s'est éboulée, ils sont tombés avec leur soutien sur le bord de la mer. M. Zöllner, dans son Voyage à l'île de Rügen, en 1795, dit encore que dans les petites collines de Rügen propre, on ne trouve d'autres pierres que des masses de granite et d'autres pierres primitives de diverses grosseurs. Revenons aux observations de De Luc.

Colonnes et piliers formés de gros blocs de granite.

En approchant du palais d'Eutin, à 3 lieues de la mer Baltique, dans le duché de Holstein, De Luc vit un grand mur autour des jardins, construit avec de gros fragments de blocs de diverses roches primitives, dont quelques unes étaient superbes. Le portail des jardins du palais était formé de quatre colonnes d'environ 10 pieds de haut, avec des piédestaux du même bloc ; le tout d'un beau granite gris. Ces quatre colonnes avaient été tirées d'un seul bloc. Les murs du jardin potager, de forme quadrangulaire, étaient entièrement construits de fragments de granite. Chaque côté du carré avait une porte soutenue par deux piliers de 7 à 8 pieds de haut, et ces piliers avaient été coupés du même bloc que les colonnes du portail.

La personne qui accompagnait De Luc et qui lui donnait des explications le conduisit à un joli temple, au bord d'un lac, soutenu par six colonnes d'environ 10 pieds de haut, qui, avec les marches tout autour, le pavé du temple et la coupole, avaient été aussi tirées du même bloc. L'informateur ajouta : Malgré tout ce que vous avez vu, il est probable qu'on n'en avait pas employé plus de la moitié.

Nous fîmes le tour de la ville d'Eutin, et nous vîmes le granite employé à faire les angles des maisons, les encadrures des fenêtres et des portes, les marches et les bancs devant les maisons.

De Luc passe à Greismühl, à 1 lieue au N.-O. d'Eutin. Il visite une ferme dont les granges et les écuries étaient entièrement construites en granite, aussi bien que le pavé et les bornes le long du chemin. On n'avait pas été bien loin pour chercher ces gra-

nites, car toutes les collines dans le voisinage, disait le propriétaire, en sont couvertes, et presque tous ceux des environs de la ferme avaient été tirés de la colline qu'on avait creusée pour élargir le chemin. Le propriétaire était alors occupé à donner plus d'extension à ses bâtiments; il montra au voyageur d'abord huit grands piliers qui devaient servir pour des portes de granges, tous extraits d'un seul bloc dont le granite contenait de grands cristaux de feldspath; ensuite plusieurs piliers brisés d'un autre bloc trouvé près du premier, dont les cristaux étaient très petits.

Dans une chapelle attenante à l'église de Sainte-Marie, à Lubeck, le dôme de cette chapelle est soutenu par deux colonnes de granite d'une seule pièce, qui ont 30 pieds de haut et 2 pieds de diamètre à la base. Elles reposent sur des piédestaux de la même roche; et l'on sait par tradition que ces deux colonnes avaient été faites d'un seul bloc trouvé dans le pays.

Monceaux de blocs formant comme des îles sur la surface du pays.

Dans le Mecklembourg et la Poméranie il y a des endroits où les blocs de différentes espèces sont amoncelés les uns sur les autres, et forment, pour ainsi dire, des îles sur la surface du pays. Ils sont accumulés en si grand nombre, qu'on croirait qu'ils ont été rassemblés dans le but de bâtir une grande ville, s'il n'y en avait pas parmi eux de dimensions trop grandes.

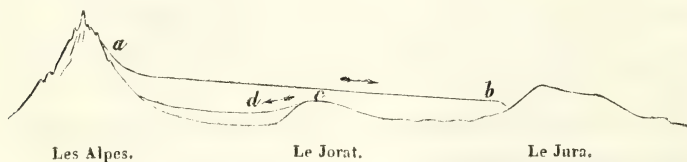
Ce n'est pas seulement dans les plaines, mais aussi sur les collines qu'on trouve ces accumulations, séparées les unes des autres par des espaces où l'on n'en voit aucune trace.

Près de Magdeburg, sur l'Elbe, il y a une de ces accumulations plus grande que celle de Liepen, que nous avons décrite ci-dessus. Aucune de ces accumulations ne peut se comparer à celle dont M. Wraxall fait mention dans son voyage autour de la mer Baltique. C'était dans la province de Nyland, qui borde le golfe de Finlande, en Suède. Dans l'espace, dit-il, d'au moins 4 lieues avant d'arriver à la nouvelle ville de Louisa, et pendant plus de 2 lieues après l'avoir quittée, on pourrait presque dire que la terre avait disparu à la vue, tant elle était couverte de pierres, ou plutôt de rochers; car plusieurs d'entre elles méritent bien ce nom, à cause de leur grandeur. La route, forcée de respecter ces obstacles formidables, fait mille détours tortueux, et serpente majestueusement pendant plusieurs milles.

Il communique ensuite le passage suivant d'une lettre de M. Édouard Collomb.

Wesserling, 9 octobre 1846.

Le grand glacier de M. de Charpentier, glacier qui, à l'époque de sa plus grande extension, couvrait tout le pays situé entre les Alpes et le Jura, présente une complication particulière sur laquelle M. Blanchet a déjà recueilli des matériaux. Cet immense glacier n'a point terminé son existence par une agonie lente et régulière, ni par une mort brusque : il a eu des temps d'arrêt, des moments de retour à une vie active ; pendant sa période de fusion il s'est arrêté en chemin et s'est divisé en une multitude de petits glaciers, qui ont acquis alors un mouvement propre et indépendant, et, chose remarquable, ce nouveau mouvement s'est trouvé sur certains points en sens inverse de celui du grand glacier primitif. Ce dernier partait du S. et se dirigeait vers le N., et quelques uns des petits glaciers de la seconde époque avaient un mouvement qui les portait du N. au S. En examinant la configuration du sol on se rend facilement compte de ce phénomène. Le terrain compris entre les Alpes et le Jura n'est point un plan régulièrement incliné vers le N. ; il y a dans cet espace des lacs très profonds, puis tout un petit système de montagnes peu élevées, le Jorat, avec des pentes et des contre-pentes ; les vallons de ce système versent leurs eaux, d'un côté dans le lac de Genève, et de l'autre dans le lac de Neuchâtel. Lorsque, par suite des progrès de la fusion, le grand glacier a reculé jusque vers les contreforts du Jorat, il y a eu temps d'arrêt, et les petits glaciers se sont formés dans tous les vallons qui rayonnent autour du lac de Genève ; j'en ai exploré quelques uns ; ils sont barrés par des petites moraines ; on y trouve beaucoup de blocs et un grand nombre de galets striés. Ces matériaux proviennent, d'une part, de ceux arrachés au sol même, puis de ceux que le grand glacier était en voie de transporter, et qui, arrêtés au milieu de leur course, sont revenus sur leurs pas ; ces derniers sont d'origine alpine. Ajoutons encore à tous ces débris ceux que les eaux ont mis en mouvement lors de la fonte définitive des glaciers et pendant la période actuelle, et vous pouvez juger de la complication du phénomène.



Le grand glacier partait de *a* et transportait ses matériaux jusqu'en *b*, puis, par la fonte successive, il a reculé jusqu'en *c*. Les vallons du Jorat, qui versent leurs eaux dans le lac de Genève, se sont trouvés encombrés de glace; il y a eu temps d'arrêt dans la marche rétrograde; de petits glaciers se sont formés, et les matériaux qu'ils ont mis en mouvement ont pris la direction de *c* en *d*, dans un sens diamétralement opposé.

Ces faits sont au surplus d'accord avec ceux que j'ai remarqués dans les Vosges; ici je n'ai toutefois pas de blocs qui aient fait deux fois le même trajet; la configuration du terrain s'y oppose; mais j'ai acquis la preuve que nos anciens glaciers ne se sont pas fondus par suite d'une succession régulière d'années chaudes. Pendant leur période de retraite ils ont stationné fort longtemps sur certains points, station qui a donné lieu à la formation d'une échelle de moraines qui barrent transversalement nos vallées à une grande distance les unes des autres. Ainsi donc, si nous comparons les faits, en Suisse et dans les Vosges, nous arrivons au même résultat: les anciens glaciers, dans ces deux contrées, n'ont point disparu de la surface du sol par une révolution brusque, mais par une fusion lente et intermittente.

M. d'Archiac met sous les yeux de la Société, de la part de M. de Boissy, une collection des fossiles du calcaire lacustre de Rilly, près Reims, et communique le Mémoire qui l'accompagne et dont nous donnerons ici le résumé avec la liste des espèces, la description et les planches devant être publiées ultérieurement dans la 1^{re} partie du t. III des *Mémoires* de la Société.

Cette faune toute locale est remarquable par le faciès des espèces qui la composent; toutes ou presque toutes sont couvertes de stries obliques, très serrées et régulières qui les distinguent au premier abord. Ce genre d'ornement se retrouve dans les Cyclades comme dans les Hélices, les Clausilies, les Bulimes, les Agathines, les Auricules et les Maillots.

Sur 39 espèces de coquilles décrites par M. de Boissy, il y en a deux au plus (*Cyclostoma rilliensis*, *Valvata Leopoldi*) qui ne sont peut-être pas nouvelles, et qui pourraient se rapprocher de deux espèces vivantes. Cependant l'identité ne lui a point paru assez complète pour les réunir. Deux autres coquilles très remarquables distinguent encore cette faune d'eau

douce, la plus ancienne du terrain tertiaire inférieur du nord de la France. Pour l'une, l'auteur a adopté le genre *Megaspira* de Lea, et l'espèce qu'il y rapporte paraît être l'analogue du *Pupa elatior* Spix, coquille qui a servi de type pour l'établissement du genre, et qui ne vit plus aujourd'hui qu'au Brésil; l'autre est l'*Achatina rilliensis*, espèce très singulière et qui pourrait peut-être donner lieu à l'établissement d'un nouveau genre.

En comparant les fossiles de Rilly avec ceux qu'a décrits M. Matheron, comme faisant partie de l'étage des lignites de la Provence, M. de Boissy n'a trouvé entre eux aucune analogie. La variété *a* de la *physa gigantea* est la seule coquille qui aurait quelque ressemblance avec la *P. gallo-provincialis* de M. Matheron.

Liste des fossiles du calcaire lacustre de Rilly-la-Montagne, près Reims, par M. de Boissy.

<i>Cyclas lenticularis</i> , nob.	— <i>remiensis</i> , nob.
— <i>unguiformis</i> , nob.	<i>Megaspira rilliensis</i> , nob. (<i>Pyramidella exarata</i> , Mich.).
— <i>Denainvilliersi</i> , nob.	<i>Clausilia contorta</i> , nob.
— <i>nuclea</i> , nob.	— <i>strangulata</i> , nob.
— <i>rilliensis</i> , nob.	<i>Bulimus Michaudi</i> , nob.
<i>Ancylus Matheroni</i> , nob.	<i>Achatina Terveri</i> , nob.
<i>Vitrina rilliensis</i> , nob.	— <i>rilliensis</i> , nob.
<i>Helix hemispherica</i> , Michaud.	— <i>cuspidata</i> , nob.
— <i>id.</i> , var. <i>minor</i> .	— <i>similis</i> , nob.
— <i>Droueti</i> , nob.	<i>Auricula remiensis</i> , nob.
— <i>luna</i> , Mich.	— <i>Michelini</i> , nob.
— <i>Arnouldi</i> , id.	— <i>Michaudi</i> , nob.
— <i>Dumasi</i> , nob.	<i>Cyclostoma Arnouldi</i> , Mich.
— <i>Geslini</i> , nob.	— <i>helicinæformis</i> , nob.
<i>Pupa rilliensis</i> , nob.	— <i>conoidea</i> , nob.
— <i>id.</i> , var. <i>a</i> .	<i>Physa gigantea</i> , Mich.
— <i>columellaris</i> , Mich.	— <i>id.</i> , var. <i>a</i> .
— <i>id.</i> , var. <i>a</i> .	— <i>parvissima</i> , nob.
— <i>sinuata</i> , Mich.	<i>Valvata Leopoldi</i> , nob.
— <i>id.</i> , var. <i>a</i> .	<i>Paludina aspersa</i> , Mich.
— <i>oviformis</i> , Mich.	— <i>Nysti</i> , nob.
— <i>Archiaci</i> , nob.	
— <i>palangula</i> , nob.	

M. de Boissy n'a point compris dans cette liste les *Pupa bulimoides* et *gibbosa*, Mich., dont l'un (*P. bulimoides*) a été

établi d'une manière insuffisante d'après un fragment, et l'autre (*P. gibbosa*) n'est que le *Cyclostoma Arnouldi*, Mich., dont le dernier tour a été enlevé par accident.

M. Desor présente les observations suivantes :

Sur le terrain danien, nouvel étage de la craie ;
par M. Desor.

Il existe aux environs de Laversine, près Beauvais, un lambeau de terrain d'une structure toute particulière, composé d'une sorte de brèche coquillière sans stratification bien évidente. Ce terrain, qui a été signalé en premier lieu par M. Graves, et qu'on a retrouvé depuis aux environs de Vigny, près Pontoise, est désigné par les géologues de Paris sous le nom de terrain pisolitique. A Laversine, il repose immédiatement sur la craie blanche et contient de nombreux fossiles ; mais, le plus souvent, ce sont des débris trop mal conservés pour servir à une détermination rigoureuse. Cependant MM. Élie de Beaumont et Hébert y avaient trouvé, l'été dernier, à Vigny, plusieurs piquants d'Oursins et des fragments de test d'une espèce particulière de *Cidar*. Cette espèce de *Cidar*, que M. Desor a examinée de concert avec M. Agassiz, se distingue par un caractère tout particulier : c'est que les granules qui entourent les tubercules sont fort gros et irrégulièrement allongés au lieu d'être ronds, particularité qui ne se retrouve dans aucune espèce de ce genre.

M. Desor, en visitant dernièrement la Scandinavie, a retrouvé dans l'île de Seeland, près de Copenhague, un calcaire tout à fait semblable par sa structure et son aspect bréchiforme au calcaire de Laversine, et au milieu des débris de coraux et de fossiles de toute espèce qui s'y trouvent empâtés, il a reconnu la même espèce de *Cidar* qui existe à Laversine. Ce terrain, dont l'aspect et la structure rappellent tout à fait le dépôt de Laversine, et que M. Forchhammer a décrit sous le nom de *calcaire de Faxeø*, se trouve dans les mêmes conditions de superposition que le calcaire de Laversine. Voici quelle est sa position dans le Seeland, à quelques milles au sud de Copenhague : la craie blanche avec ses fossiles caractéristi-

ques, tels que l'*Ananchytes ovata*, l'*Ananchytes striata*, *Galerites albogalerus*, etc., forme l'assise inférieure baignée par les eaux de la mer. Au dessus de la craie se trouve une mince couche d'argile, renfermant de nombreux débris de poissons qui, jusqu'ici, n'ont pu être déterminés à cause de leur état de conservation imparfait. Au-dessus de ce banc d'argile, se trouve le calcaire de Faxeø avec le *Cidaris*, dont il vient d'être question. Ce calcaire, dont l'épaisseur est très faible sur les côtes, va en augmentant de puissance vers l'intérieur de l'île; il arrive à son maximum près du village de Faxeø, où il a jusqu'à 40 pieds d'épaisseur, et où on l'exploite avec une grande activité pour en faire de la chaux.

A côté du *Cidaris* à granules allongés que M. Desor propose d'appeler *Cidaris Forchhammeri*, en l'honneur du savant géologue de Coppenhagen, M. Desor y a trouvé plusieurs autres fossiles également caractéristiques, entre autres une *Pyrene* nouvelle (*Pyrina Freucheni*), qui diffère de toutes les espèces connues par sa forme large et son ouverture anale très ample. Une espèce de *Holaster* très plat et large, à sillon inférieur très prononcé voisin du *Holaster ananchytes*. Enfin un petit Crabe *Brachyurites rugosus* Schloth., ou *Dromilites rugosus* Edw.

Enfin M. Desor a vu, au musée de Coppenhagen, parmi les fossiles étiquetés comme provenant du calcaire de Faxeø, deux autres espèces d'Oursins très bien conservés, savoir : l'*Ananchytes subglobosus* Lamk., dont Lamarck n'avait connu que le moule, et une espèce de *Micraster* voisin du *Micraster breviporus* Agass. Ces deux espèces se retrouvent également en France : la première, dans le calcaire à *Baculites* de Picanville, et l'autre, dans la craie du département de l'Oise.

Au-dessus du calcaire de Faxeø, se trouve un étage plus puissant, d'un calcaire compacte également très riche en coraux, et que M. Forchhammer désigne, pour cette raison, sous le nom de craie corallienne, en y rapportant un dépôt analogue du Jutland septentrional, connu dans le pays sous le nom de Limesteen. Ce dépôt, qui atteint une puissance de plusieurs centaines de pieds au *Stevens-Klint*, contient, en grande partie, les mêmes fossiles que le calcaire de Faxeø; on y trouve surtout en très grande quantité l'*Ananchytes subglobosus*.

Il est évident que le terrain dont il s'agit n'est point une simple forme locale de la craie blanche, puisqu'il se trouve superposé à cette dernière, en Danemarck aussi bien qu'à Laversine et à Vigny, et qu'il contient des espèces qu'on n'a pas trouvées jusqu'à présent dans la craie blanche. D'un autre côté, la présence de genres tels que les Ananchytes, les Holaster et les Micraster, ne permet pas de rapporter ce terrain à l'étage tertiaire.

M. Desor pense dès lors qu'il faut envisager le calcaire de Faxoë, la craie corallienne et le lambeau pisolitique de Laversine et de Vigny, comme un étage particulier de la craie, le plus récent de tous, ainsi que l'avait proposé M. Élie de Beaumont; mais il ne saurait y comprendre les terrains à Nummulites, qu'il envisage comme étant d'une époque plus récente. M. Desor propose d'appeler cet étage *terrain danien*, parce qu'il est surtout développé dans les îles du Danemarck. Ainsi que l'avait pensé M. Graves, il est probable qu'on devra y rapporter par la suite le terrain de Maëstricht.

M. Deshayes fait observer que parmi les coquilles de Faxoë qu'il a déterminées, il a trouvé un certain nombre d'espèces identiques avec celles de Maëstricht.

M. Deshayes a dit à M. Desor que le calcaire de Laversine avait de la ressemblance avec celui de Scanie décrit par Nilson.

M. Graves cite à l'appui de cette assertion la *Terebratula ovata*, Nilson, qu'on trouve à Laversine.

M. Michelin assure que le terrain de Laversine est pareil à la craie de Maëstricht, et que M. Graves y a trouvé, depuis plus de quinze ans, plusieurs des Polypiers décrits par Goldfuss.

M. Graves ajoute que tous les fossiles de Laversine qui ont pu être déterminés appartiennent à des terrains crayeux de différents pays. Ainsi, on y voit entre autres le *Portunus Faujasii*, qui est caractéristique de la craie jaune de Maëstricht; plusieurs Limes et Arches du terrain turonien; des Polypiers pareils à ceux de l'île de Rugen, décrits par M. Hagenow dans le *Journal de Leonhard*.

M. Deshayes considère les calcaires de Faxoë comme identiques avec ceux de Maëstricht.

M. de Verneuil demande s'il y a des Nummulites dans ce calcaire.

M. d'Archiac rappelle que M. Lyell a visité en 1834 les localités dont vient de parler M. Desor, et que, d'après son *Mémoire (Proceed. of geol. Soc. of London, vol. II, p. 491, 1835; Transac., id., vol. V, p. 243)*, le calcaire corallien de Faxeø, supérieur à la craie blanche bien caractérisée, a les plus grands rapports avec la craie de Maëstricht. De son côté, M. Beck (*Proceed., id., vol. II, p. 217*) a signalé dans les couches de Faxeø quelques fossiles de la craie blanche, et d'autres, en plus grand nombre, qui leur sont particuliers et qui appartiennent à des genres plus spécialement tertiaires.

M. Michelin ne croit pas à l'identité de ce terrain avec le terrain pisolitique.

M. Desor fait la communication suivante :

Notice sur le phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes, par M. Desor.

Entre les phénomènes erratiques du Nord et ceux des Alpes, l'analogie est si grande qu'on est naturellement porté à les attribuer à une cause commune. C'est ce qu'ont fait les partisans des deux grandes théories qui partagent aujourd'hui les géologues (la théorie glaciaire et celle des courants). Les uns et les autres reconnaissent l'identité des faits, mais en les interprétant d'une manière différente (1). Par contre, cette identité est contestée par une partie des géologues scandinaves, spécialement par ceux qui rapportent le phénomène tout entier à l'action des flots de la mer (2).

La question se pose dès lors naturellement en ces termes : *La disposition du terrain de transport du Nord, le poli des rochers et la direction des sulcatures, sont-ils en tous points semblables à ceux des Alpes, ou bien la ressemblance n'est-elle qu'apparente, et dans ce cas quelles sont les particularités qui les distinguent ?*

(1) C'est peut-être le seul point de la question sur lequel MM. de Buch et Élie de Beaumont soient d'accord avec MM. Agassiz et de Charpentier.

(2) C'est la théorie que M. Forchhammer a développée dans son article des *Annales de Poggendorf*, vol. LVIII.

La question ainsi posée , ce n'est que par une étude comparative des phénomènes erratiques dans les deux pays , que l'on peut espérer la résoudre. Jusqu'ici , il faut l'avouer , tout en étudiant avec soin les phénomènes locaux , on les a en général envisagés sous un point de vue trop exclusif. Peut-être eût-il été à désirer que les auteurs, qui ont écrit sur la Scandinavie, eussent une connaissance plus complète des phénomènes alpins ; de même qu'il est à regretter que les observateurs des Alpes n'aient pas tous visité la Scandinavie.

Ayant eu l'avantage de prendre une part active aux recherches que M. Agassiz a faites, pendant huit années consécutives, dans les différentes régions des Alpes , et particulièrement au glacier de l'Aar , j'ai voulu étudier à mon tour le terrain erratique de la Scandinavie , et m'assurer jusqu'à quel point les objections que l'on en a tirées contre l'application de la théorie glaciaire sont fondées.

Je n'ai pas la prétention de discuter, dans ce mémoire, tous les faits qu'on peut rattacher à cette grande question , ni d'apprécier toutes les conséquences géologiques qu'on en a tirées. Mes observations se borneront à deux points principaux , savoir : les surfaces polies avec les sulcatures qui les accompagnent , et le terrain de transport , considéré dans ses différentes formes.

Des surfaces polies.

Les roches polies existent sur une bien plus grande échelle en Scandinavie qu'en Suisse. A proprement parler , le sol tout entier de la Scandinavie n'est qu'une vaste surface polie. S'il arrive que sur un point quelconque les polis échappent à l'observation , il suffit d'enlever la couche du diluvium qui recouvre le sol pour les retrouver avec leurs sillons et leurs stries caractéristiques. S'ils sont complètement effacés d'une colline ou d'un ravin , l'œil exercé n'en reconnaît pas moins , dans les formes ballonnées des rochers, qui sont l'analogue des roches moutonnées des Alpes, les traces du gigantesque rabot qui a façonné tous les reliefs.

Les *sulcatures* (1) , plus nombreuses et souvent mieux conservées qu'en Suisse , ont, en général, le même caractère. Elles se

(1) J'emploie ce nom dans le sens général que semble lui attacher M. Durocher, en comprenant par là tous les sillons, sans égard à leurs dimensions, c'est-à-dire les cannelures, les fines stries aussi bien que les grands sillons.

présentent soit sous la forme de fines stries rectilignes , dont on reconnaît les traces partout où les polis sont bien conservés , soit sous la forme de cannelures quelquefois très longues , rappelant celles qui se voient dans plusieurs vallées des Alpes , en particulier dans la vallée de Hassli , en amont des chalets de Boden , sur la rive gauche de l'Aar. D'autres fois , ce sont de larges sillons qu'on a désignés sous le nom de cylindres creux. Ils sont tantôt rectilignes , tantôt légèrement courbés , mais jamais ramifiés , et leur surface est souvent couverte des mêmes fines stries rectilignes qui se retrouvent sur les surfaces environnantes. J'ai vu de fort beaux exemples de ces sillons sur les deux rives du fiord de Christiania , où la roche est de gneiss , et le long de la route de Christiania à Krogleben , sur du porphyre. On en voit aussi aux environs de Stockholm , sur les îles du Maelar , ainsi qu'aux environs de Waxholm , dans la Baltique.

Ces sillons ou cylindres creux sont , à plusieurs égards , les analogues des sillons que M. Agassiz a décrits et figurés sous le nom de *coup-de-gouge* , et qui sont dus au frottement de gros galets. Lorsque ces galets se trouvent pris entre la glace et la roche , ils sont serrés avec une telle force contre les parois du rivage , qu'ils entament les rochers les plus durs. On pouvait voir , il y a quelques années , un exemple frappant de ce mode de formation des cylindres creux sur la rive droite du glacier de Rosenlauri , où un galet de granite venait de creuser un large sillon dans la roche calcaire du rivage. Ces sillons ne sauraient donc être une objection à la théorie des glaces , comme on l'a prétendu , puisque nous voyons les glaciers en former tous les jours de pareils sous nos yeux. En revanche , ils seront une difficulté insurmontable pour la théorie des courants et pour celle des vagues , aussi longtemps que l'on n'aura pas prouvé que ces agents ont la faculté de tracer de fines raies dans l'intérieur des sillons.

Il est à peine nécessaire de rappeler que ces sillons rectilignes , ou simplement arqués , n'ont rien de commun avec les canaux creusés par la vague , dont on voit de fort beaux exemples sur la côte occidentale de Suède , à l'entrée du fiord de Gothenbourg , ainsi que dans plusieurs îles du fiord de Christiania (1) , et qu'on retrouve avec les mêmes caractères sur les bords des lacs suisses.

(1) La fig. 2 (pl. II) représente une surface polie , à côté de la cascade de Hunnevooss en Norvège , sur laquelle les sillons tortueux creusés par l'eau se voient à côté des sillons et des cannelures glaciaires.

Ils sont , à la vérité , polis comme les sillons glaciaires , mais ils n'ont jamais de stries dans leur intérieur ; leur forme tortueuse et souvent anastomosée les trahit d'ailleurs au premier coup d'œil (1).

Les marmites de géants , dont j'ai vu de forts beaux exemples sur plusieurs îles du fiord de Christiania , en particulier sur une petite île schisteuse , à côté de celle de Mahnö , à une demi-lieue de Christiania , sont tout aussi étrangères aux glaciers que les canaux tortueux. Elles sont produites par des remous chargés de pierres et mis en mouvement soit par la vague de la mer , soit par des torrents , comme ceux que M. Scherer a décrits et figurés dans son mémoire. Ces derniers sont en tous points semblables à ceux qu'on voit en Suisse , à côté du pont de l'Aar , en remontant de la Handeck à l'hospice du Grimsel. Leurs parois sont admirablement polies ainsi que les galets qui servent à les creuser , mais on n'y rencontre jamais la moindre trace de stries.

Il existe cependant dans le Nord une espèce de sulcature dont on n'a pas encore , que je sache , signalé des exemples dans les Alpes. On trouve dans les petites îles des fiords de la Norvège de grands couloirs qui courent dans le sens des stries semblables à de petites vallées parallèles. Ces couloirs , dont M. Scherer (2) a donné des coupes et des dessins , et dont j'ai vu de beaux exemples sur la petite île de Husperu , dans le fiord de Christiania , sont hors de toute proportion avec les sillons dont nous venons de parler , car ils ont quelquefois plusieurs centaines de pieds de longueur , une largeur de 30 à 50 pieds et à peu près autant de profondeur. Leurs parois sont souvent verticales et recouvertes de fines stries , comme les surfaces adjacentes. Ces dernières y sont même plus distinctes ; l'on y voit aussi des cannelures et même de grands sillons (3). Cette circonstance a engagé quelques auteurs à attribuer le creusement de ces couloirs à la même cause qui a poli les montagnes et gravé les stries , et comme ces couloirs se trouvent de préférence sur les îles basses , tandis qu'ils manquent généralement sur les croupes des montagnes , M. Scherer en conclut que l'agent qui les

(1) On trouvera des détails circonstanciés sur les caractères propres des canaux creusés par les eaux , et sur les différences qui les distinguent des sillons glaciaires dans les ouvrages de MM. Keller, Agassiz , et Martins.

(2) *Poggendorf, Annalen*, 1845 , t. LXVI.

(3) M. Desor a mis sous les yeux de la Société un fragment d'un sillon pareil , détaché de la paroi de l'un de ces couloirs , dans l'île de Husperu.

a creusés a dû agir avec beaucoup plus d'intensité au fond des vallées que sur les plateaux et les collines. Quant à la distribution inégale de ces couloirs, l'auteur en cherche l'origine dans la dureté inégale de la roche, qui aurait été entamée plus profondément par l'agent erratique là où elle est plus désagrégeable. Mais si les courants mentionnés auxquels il attribue le phénomène erratique avaient réellement été assez forts pour creuser au milieu du fiord des couloirs pareils, on n'entrevoit pas pourquoi on ne leur attribuerait pas aussi la formation des grandes vallées et des fiords eux-mêmes; et c'est, en effet, l'opinion de M. Scherer (1). Mais alors l'effet n'est plus en proportion avec la cause. Du moment qu'on invoque l'inégale dureté de la roche pour expliquer la formation des couloirs, rien n'empêche de supposer qu'ils ont été creusés *avant* la période diluvienne, car il est probable que l'atmosphère exerçait alors la même action sur les rochers que de nos jours. Dans cette hypothèse, qui me semble très naturelle, les couloirs seraient antérieurs au phénomène erratique, qui n'aurait fait que les polir, les rayer et peut-être les élargir.

Enfin, il me reste à mentionner une dernière espèce de sillon, dont l'explication semble offrir plus de difficultés. J'ai vu sur la rive orientale du fiord de Christiania, près d'une maison de pêcheur, appelé *Lille Kneppe*, à une demi-heure de la ville, un sillon d'une largeur variable de 30 à 60 centimètres et d'une profondeur à peu près égale, creusé dans la paroi du rivage en un endroit qui est très escarpé et couvert de stries longitudinales. Ce sillon n'est pas anastomosé, mais il est très bien poli, et l'on distingue dans son intérieur de fines stries dirigées dans le sens de la pente, et par conséquent perpendiculaires à la direction générale des sulcatures (voy. fig. 3). Je n'entrevois qu'une manière d'expliquer ces stries exceptionnelles, c'est de supposer qu'il existait en ce point un glacier latéral, s'avancant perpendiculairement à la grande vallée, semblable aux affluents latéraux des grands glaciers des Alpes, mais dont les vestiges auraient été plus tard effacés par le glacier principal, à l'exception de ceux qui se trouvaient au fond des couloirs trop étroits pour que la glace ait pu s'y mouler.

A part ces exceptions, les différentes espèces de sulcatures sont en général parallèles sur un point donné. Il n'y a guère que les stries fines qui se croisent quelquefois sous des angles considérables, de 40°, 60° et davantage, comme cela se voit d'ailleurs

(1) *Poggendorf, l. c., p. 284.*

sous les glaciers et sur les parois des vallées qui les encaissent (1).

La mer n'est pas une limite pour les sulcatures, car on les voit plonger sous les eaux sur une foule de points du littoral, aussi loin que l'œil peut pénétrer. L'on a en outre fait la remarque que les polis et les sulcatures sont plus nets le long des côtes et sur les rives des fiords, qu'au sommet des collines ou sur les plateaux, et l'on a voulu voir dans ce fait une preuve en faveur de la théorie qui attribue les polis à l'action de la vague. Il existe en effet une zone de quelques mètres de largeur immédiatement au-dessus de la mer, où l'éclat des polis est beaucoup plus vif et le burinage plus parfait qu'ailleurs. Mais cette circonstance, loin de prouver en faveur de l'action de la mer, lui est plutôt contraire. Si les polis et les stries sont plus distincts et mieux conservés dans la zone en question, ce n'est pas parce que la vague les renouvelle (ce qui est impossible du moins à l'égard des stries), mais parce qu'elle empêche les lichens de prendre pied aussi loin et aussi haut qu'elle peut atteindre. Or, on sait que rien n'altère plus la surface des rochers que la végétation des lichens.

On a beaucoup insisté, dans ces derniers temps, sur la différence qui existe sous le rapport des polis entre les différentes faces des îles et des rochers saillants qui ont subi l'action erratique. On sait que la face tournée du côté d'amont (*Stossseite*) est toujours arrondie, polie et striée, tandis que la face opposée (*Leeseite*) est souvent anguleuse et dépourvue de stries et de cannelures. Cette disposition est tellement frappante le long des côtes et dans l'intérieur des vallées de la Scandinavie, qu'elle y a été remarquée depuis longtemps par le peuple des campagnes, qui désigne les collines ainsi coupées d'un côté sous le nom de *skaaret flesk* (lard entamé) parce qu'elles ont, en effet, l'air d'être entamées sur leur face préservée. Or, comme cette face anguleuse est généralement en aval, il en résulte que si le polissage et le façonnement des rochers était l'œuvre de la vague, ce côté, loin d'être préservé, devrait au contraire être le mieux arrondi, puisqu'il est frappé directement par le battement des flots. Au reste, cette disposition des rochers n'est pas exclusivement propre à la Scandinavie. On retrouve le même phénomène, bien que moins développé, dans les Alpes. Il y a au-devant du glacier inférieur de l'Aar trois

(1) M. Durocher se trompe lorsqu'il affirme que les angles sous lesquels les stries se croisent dans les Alpes ne dépassent pas 45° à 25°. M. Agassiz en a décrit et figuré qui sont à angles droits. Voyez *Études sur les glaciers*, pl. XVIII.

collines granitiques allongées dans le sens de la vallée. Ces collines sont toutes trois parfaitement arrondies du côté qui fait face au glacier ; le côté opposé, par contre, est bien moins façonné et l'on n'y reconnaît aucune trace d'usure. Je connais aussi plusieurs localités où cette disposition se retrouve dans l'intérieur des glaciers. Le glacier de Rosenlauri est divisé à son extrémité en deux branches. Le promontoire qui occasionne cette bifurcation est parfaitement poli et usé en amont et sur les côtés, partout où le glacier se trouve en contact avec lui. Il est au contraire anguleux et en forme d'escalier du côté d'aval, où il est à l'abri de tout frottement (1).

M. Scherer a fait la remarque qu'en Norvège, le contraste entre le côté choqué et le côté préservé est beaucoup plus frappant dans les vallées et sur le bord des fiords, que sur les plateaux, qui sont cependant aussi polis et rayés, et il demande si une pareille disposition est compatible avec l'hypothèse des glaciers. La difficulté, à mes yeux, n'est pas bien grande ; c'est la conséquence d'une action prolongée des glaciers. Si, comme tout semble l'indiquer, la fonte des glaces s'est effectuée d'une manière lente et graduelle, il s'ensuit que les glaciers ont dû séjourner plus longtemps dans les vallées et les dépressions du sol, et partant leur action doit y avoir laissé des traces plus profondes et plus indélébiles.

La direction des sulcatures en grand est assujettie aux mêmes lois que dans les Alpes. MM. Keilhau (2) et Scherer (3) ont démontré, chacun de leur côté, que les stries, loin de suivre une direction unique, comme on l'avait conclu d'observations trop peu nombreuses, courent au contraire dans toutes les directions, qu'elles sont subordonnées aux reliefs du sol et dépendantes des versants. Cela est surtout évident dans l'intérieur des montagnes de la Norvège, où les sulcatures suivent d'une manière absolue la direction des vallées. S'il arrive qu'une vallée dévie de sa direction première pour se fléchir soit à droite, soit à gau-

(1) Le fait que les stries sont moins distinctes sur les côtés de ces rochers façonnés, et qu'elles s'oblitérent insensiblement dans le voisinage de la face préservée, ne saurait non plus être une difficulté pour la théorie glaciaire, comme le pense M. Murchison (*Quarterly Journal*, t. II, p. 367), attendu qu'on retrouve la même chose sur les rochers actuellement en contact avec le glacier.

(2) *Nyt Magazin fur Naturvidenskaberne*, vol. III.

(3) *Poggendorf Annalen*, vol. LXVI.

che, on voit les stries répéter les mêmes flexions. C'est en particulier ce que M. Siljestroem a observé dans la vallée de Leirdal, qui, après avoir couru au S.-O., se coude brusquement au N.-O. pour aller aboutir au Sognefiord. Les stries de la partie supérieure se croisent à angle droit avec celles de la partie inférieure, absolument comme les stries de la vallée du Rhône, en amont et en aval de Martigny.

En Suède, la direction des sulcatures est plus uniforme qu'en Norvège : c'est une conséquence naturelle du relief du pays, qui est beaucoup moins accidenté que le sol de la Norvège. On sait que dans toute la partie méridionale de la presqu'île les sulcatures courent généralement du N. au S., avec des déviations plus ou moins considérables tantôt à l'E., tantôt à l'O. C'est ce dont il est facile de s'assurer en longeant le Goete-Canal, entre Gothenbourg et Stockholm. Après les avoir trouvées dans la première de ces villes, courant au S.-S.-O., je les ai vues abandonner insensiblement cette direction à mesure que j'avais du côté de l'E., et, à Stockholm, je les ai trouvées orientées au S.-S.-E., décrivant par conséquent un éventail qui égale à peu près un quart de cercle (1). La déviation est encore bien plus marquée sur les polis calcaires récemment découverts par M. Forchhammer près de Faxö. Les stries suivent ici deux directions qui se croisent sous un angle de 40° . J'ai mesuré la direction prépondérante, et l'ai trouvée courant au S.-E. (143° de la boussole) ; la seconde direction est à l'E.-S.-E. (102° de la boussole).

Nous possédons bien moins de documents sur la partie septentrionale de la Scandinavie. Cependant M. Siljestroem a trouvé les stries dirigées au Nord sur les bords du fiord d'Alten, dans le Finmark, et nous savons qu'en Finlande M. Boethlingk les a vues courant vers la mer Blanche (2). En combinant ces directions avec celles qu'on observe dans les régions méridionales de la presqu'île, on trouve que les stries de la Scandinavie, comme celles des Alpes, forment un système unique qui rayonne dans toutes les directions, tout en présentant des déviations locales considérables.

Enfin une dernière analogie entre la Scandinavie et les Alpes suisses, qui n'avait pas encore été signalée jusqu'ici, c'est l'exis-

(1) M. Durocher, dans un Mémoire spécial sur la direction des sulcatures, admet plusieurs centres d'érosion, auxquels il rapporte toutes les déviations locales.

(2) *Bull. Acad. St-Petersb.*, t. VII.

tence d'une limite supérieure des polis. J'ai montré ailleurs (1) que dans les Alpes, cette limite ne dépasse guère 3,000 mètres. On la voit s'abaisser d'une manière graduelle le long des flancs des vallées, à mesure que l'on s'éloigne des grandes cimes qui entourent les origines des glaciers; mais son inclinaison est plus faible que celle des vallées, et à bien plus forte raison que celle de la surface des glaciers actuels. Elle se trahit facilement à l'œil exercé par les contrastes de forme auxquels elle donne lieu. Toutes les cimes qui s'élèvent au-dessus de cette limite sont profondément disloquées et dentelées, tandis que leurs flancs, au-dessous de cette même limite, sont arrondis et polis. Il est une foule d'endroits dans les Alpes où le contraste est si frappant que des géologues, d'ailleurs fort habiles, l'ont attribué à une différence dans la nature de la roche. Des contrastes pareils entre les sommets dentelés et les bases arrondies ont été observées par M. Siljestroem sur les flancs du Suletin-den, dans le Doverfield. M. Keilhau, de son côté, m'a assuré avoir remarqué le même phénomène aux Jotun-Fjeldene et dans les Nordlanden (Norvège) (2). Les sulcatures ne sont pas, en général, très bien conservées dans ces régions supérieures; cependant M. Keilhau a vu des stries jusqu'à 1800 mètres de hauteur, sur le plateau entre Halingdalen et Hardanger, et l'on sait que M. Siljestroem en a observé sur les flancs du Schneehättan à l'altitude de 1234 mètres.

Il est probable que cette limite coïncide, comme en Suisse, avec le niveau supérieur des débris erratiques, et l'on ne doit pas s'attendre à trouver des blocs étrangers au sol au-delà de cette limite. Cependant l'on ne possède pas encore des observations pré-

(1) *Comptes-rendus de l'Acad. des sc.*, t. XIV, p. 412.

(2) Il paraît qu'à mesure qu'on s'avance vers le Nord cette ligne descend à un niveau toujours plus bas. D'après les renseignements et les croquis que m'a fournis M. de Welk, les formes arrondies et ballonnées, qui sont le trait dominant des montagnes dans la partie méridionale de la Norvège, sont bien moins fréquentes dans les latitudes plus septentrionales. On cite des montagnes qui n'ont guère plus de 400 à 500 mètres, et dont les sommets sont aussi dentelés que ceux des Alpes: telles sont, par exemple, les Sept-Sœurs, au-delà du 66° degré de latitude. L'*Atlas pittoresque de la Norvège*, par Ankarvaerd, renferme plusieurs vues de pics dentelés, entre autres celle de Romsdalen et celle du fiord de Veblangnaes. On voit des montagnes arrondies sur le devant, tandis que les montagnes du fond sont profondément déchirées, comme les aiguilles de la Dent-du-Midi en Suisse.

cises sur ce point important. Ce qui paraît hors de doute, c'est que l'agent qui a arrondi le flanc des montagnes est le même qui a tracé les sillons. De même qu'en Suisse, ces formes ballonnées ne sont donc pas l'effet pur et simple de la structure des granites, car autrement on ne concevrait pas pourquoi les sommets seraient dentelés passé une certaine limite de hauteur, qui est évidemment une limite climatologique (1).

La faible inclinaison du sol, dans une grande partie de la Suède et de la Finlande, comparée à la pente des glaciers actuels, a été présentée comme une grave objection à la théorie glaciaire par M. Boethlingk (2) d'abord, et plus tard par MM. Bronn (3), Durocher (4) et Murchison (5). Bien que la pente que l'on revendique pour la progression des glaciers soit, en général, exagérée (puisque le glacier de l'Aar se meut sur un sol dont l'inclinaison moyenne excède à peine 1°), l'objection n'en serait pas moins d'un très grand poids s'il s'agissait d'un continent parfaitement stable; mais dans le cas particulier je ne saurais lui accorder une importance réelle, surtout après avoir montré par les stries, qui, sur le pourtour de la Suède et de la Norvège, plongent sous la mer, qu'à l'époque du burinage le sol de la Scandinavie était plus exhaussé que maintenant.

On a aussi beaucoup insisté sur cet autre fait, qu'en nombre de points de la Scandinavie les stries ne suivent pas exactement la pente du terrain, mais forment avec elle des angles plus ou moins considérables. M. Boethlingk cite spécialement le revers de la montagne de Krogleben, dans le Ringe-Rige, près Christiania, où les rochers de Rongs-Outsigt sont usés de bas en haut, et il se demande comment il est possible qu'un glacier ait pu remonter ces rochers qui ont 1200 pieds de hauteur. J'ai visité cette localité et j'ai reconnu qu'en effet les sulcatures, au lieu de se fléchir à l'O. dans la direction du fiord, remontent contre l'escar-

(1) Je ne prétends pas nier par là la forme cylindroïde des collines granitiques en dehors du phénomène erratique; j'en ai cité moi-même des exemples dans les Alpes, et j'en ai vu de fort beaux en Scandinavie. Il est probable qu'en une foule d'endroits les glaciers n'ont fait que polir des surfaces déjà ballonnées; mais ce n'est pas une raison pour contester les polis et les cannelures qui sont l'effet d'une action subséquente.

(2) *Bull. de l'Acad. de St-Petersbourg*, t. VIII, p. 462.

(3) Leonhard et Bronn, *Jahrbuch*, 1842, t. X, p. 56.

(4) *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1846, 2^e série, t. IV, p. 28 et suiv.

(5) *Quarterly Journal*, 1846, t. II, p. 349.

pement. J'ai observé des stries très distinctes à la sortie de la gorge très étroite, semblable à un ruz jurassique, par laquelle on descend de la station de Krogleben à celle de Sundewall. Ce sont probablement les mêmes qu'a signalées M. Boethlingk. Mais ce contraste entre la direction des sulcatures et les reliefs du sol, qui, au premier abord, semble si accablant pour la théorie (pour celle des courants encore plus que pour celle des glaciers), n'est pas un phénomène propre à la Scandinavie; on le retrouve tout aussi frappant dans les Alpes, où M. Agassiz (1) en a cité un exemple, entre autres au col du Grimsel, entre le glacier du Rhône et la vallée de Hassli. Ce col, quoique situé à 500 mètres au-dessus du glacier actuel du Rhône, est poli et strié jusqu'à son sommet, mais dans une direction oblique à la vallée actuelle de l'Aar et à celle du Rhône. Cette direction ne s'explique que d'une seule manière, en supposant qu'à l'époque des plus grandes glaces un bras du glacier de l'Aar passait pardessus le col du Grimsel et se déversait dans la vallée du Rhône. Or, pour peu que les glaces du N. fussent en rapport avec celles des Alpes, on conçoit que les glaciers qui descendaient de l'intérieur de la Norvège devaient être assez puissants pour maintenir leur direction malgré une barrière de quelques cent mètre.

Du terrain de transport.

M. Martins a insisté récemment, avec beaucoup de raison selon nous, sur la nécessité de distinguer entre les différentes formes du terrain erratique du Nord, comme les géologues suisses l'ont fait depuis longtemps pour les terrains de transport de ce pays (2). Il est permis de croire, en effet, que si le terrain erratique du Nord a présenté jusqu'ici de si grandes difficultés, c'est parce que l'on a voulu rapporter à une cause unique un phénomène très complexe en lui-même. Rien, en effet, n'est plus différent que la forme et la disposition du terrain diluvien dans les diverses parties de la Scandinavie. Il s'y présente sous les trois formes principales qu'on a reconnues en Suisse, 1° les *moraines*, 2° les *blocs erratiques*, et 3° le *diluvium proprement dit*, auquel il faut en ajouter une quatrième qui est propre à ce pays, les *æsars*.

Les *moraines* existent dans les vallées intérieures de la Norvège.

(1) *Études sur les glaciers*, p. 264.

(2) Neckør, de Saussure, Agassiz, Escher de la Linth, Blanchet et surtout Guyot.

M. Schimper en a observé de très caractéristiques dans la vallée de Guldbrandsdalen (1), où elles se présentent sous la forme de remparts composés de débris amassés, sans aucun triage, comme en Suisse. Mais il ne faut pas les chercher dans la plaine ni au-dessous d'un certain niveau, qui est indiqué par les points les plus élevés où l'on trouve des coquilles diluviennes.

Les *blocs erratiques* embrassent un champ bien plus vaste que les moraines; ils ne sont pas limités à la Scandinavie, mais l'on sait qu'ils sont répandus sur une très grande partie du nord de l'Europe. Tantôt on les trouve associés au diluvium, tantôt ils sont épars à la surface du sol. Les uns sont arrondis et les autres plus ou moins anguleux. Il y en a qui ont leurs angles aussi intacts que les blocs de protogine sur les flancs du Jura. Ceux qui sont mêlés au diluvium sont ordinairement arrondis; un petit nombre seulement est anguleux. Lorsque les blocs sont très abondants sur un point, ils appartiennent ordinairement à une seule espèce minéralogique. J'ai vu des localités où les blocs de syénite sont tellement nombreux qu'ils empêchent la culture de la terre, par exemple sur les bords du lac Roxen, dans l'Ostgothie.

Le dépôt qu'on désigne sous le nom de *diluvium* se présente avec des caractères divers, suivant les localités. En Suède et dans une grande partie de la Norvège, il est le plus souvent composé d'un gravier mélangé de galets et de gros blocs. Souvent aussi c'est du limon qui passe même quelquefois à une argile très fine, par exemple sur les bords du fiord de Tyrie. Dans d'autres contrées, cette argile fait place à un sable très fin, recouvrant de vastes étendues. La fertilité des pays du Nord dépend, en général, de la nature du diluvium. Les plaines si fertiles de la Scanie et du Seeland sont composées d'un diluvium limoneux mêlé de calcaire. Les plaines du Hanovre et spécialement la *Luneburgerhaide* ne sont si stériles que parce qu'elles sont composées de sables siliceux.

Ces dépôts divers renferment tous des cailloux roulés et même des blocs d'un volume considérable. Les blocs qu'on en retire sont en général arrondis, ou du moins émoussés. Tous ne sont pas étrangers au sol; il est des contrées où la majeure partie provient de la roche en place ou de gîtes peu éloignés. Ainsi le diluvium de Scanie contient beaucoup de silex pyromiques aux environs de Malmö, et de nombreux fragments d'arkose aux environs de Lund. Le diluvium des environs de Copenhague renferme en

(1) *Comptes-rendus de l'Acad.*, 1846, t. XXII, p. 43. Voy aussi Durocher, *Bull. Soc. géol.*, 2^e série, t. IV, p. 85.

quantité des galets de calcaire danien (calcaire de Faxö), et même des morceaux de grès vert. M. Forchhammer (1) a montré que le diluvium de l'île de Langeland contient de 35 à 40 p. 100 de roches de transition. Sur la rive occidentale du Limfjörd, les porphyres, les syénites et les grès de transition vont jusqu'à 40 p. 100, et dans la partie occidentale du Jutland les roches de transition forment les deux tiers de la masse. Mais ceux-là ne sont pas susceptibles d'être transportés aussi loin que ceux de la surface, car, comme ils sont assujettis à des frottements continuels, ils finissent par être complètement usés et réduits en poudre, à moins qu'ils ne soient excessivement durs. Suivant l'opinion de plusieurs géologues, cette distribution des débris erratiques serait une difficulté insurmontable pour la théorie glaciaire. On objecte que si le terrain erratique avait réellement été transporté par des glaciers se rattachant à la chaîne des Alpes scandinaves, on ne devrait rencontrer que des galets de ces montagnes dans le diluvium de la plaine. Mais on oublie que les glaciers ne transportent pas seulement les matériaux qui tombent sur leur surface; ils en arrachent aussi au sol sur lequel ils se meuvent, et il est probable que ceux-ci seraient entraînés aussi loin que ceux de la surface s'ils ne subissaient un frottement considérable qui les use et les réduit en poudre. Il s'ensuit que ces pierres arrachées au fond, à moins d'être d'une très grande dureté, ne peuvent pas faire un long trajet. C'est ce dont le glacier de l'Aar nous offre un exemple frappant. Quoique encaissé en majeure partie par des montagnes gneissiques, il ne rejette cependant qu'une quantité proportionnellement très faible de cailloux de gneiss. Les pierres empâtées dans la glace, à l'extrémité du glacier, sont en général des galets granitiques provenant des massifs les plus voisins. Il n'y a dès lors rien d'extraordinaire à ce que les galets schisteux dominent en Suède, là où la roche en place est du schiste, tandis qu'en Scanie on trouve beaucoup de silex mêlés au diluvium.

Au reste, cette même distribution se retrouve aussi dans le diluvium de la Suisse. Il y a sur le revers méridional du Jura, entre Soleure et Bienne, une dépression en forme d'anse, au fond de laquelle sont situés les bains de Granges. Cette dépression est remplie d'une masse énorme de diluvium, dans lequel on remarque à côté des blocs de granite, de poudingue, de chlorite, etc., tous originaires des Alpes, une quantité assez considérable de gros blocs de molasse, provenant évidemment des

(1) *Poggendorf Ann.*, vol. LVIII, p. 609.

collines molassiques situées dans le voisinage. J'en ai vu également dans les amas diluviens de la vallée des Gensbrunnen, entre la chaîne du Weissenstein et celle du Passwang. Enfin, tous ceux qui ont étudié le diluvium suisse savent que sur les flancs du Jura occidental, dans les cantons de Vaud, de Neuchâtel ainsi que sur plusieurs points du Jura bernois et français, le diluvium alpin est mélangé d'une quantité considérable de galets jurassiques arrachés aux flancs des montagnes sur lesquelles il repose.

Loin donc d'infirmar la théorie des glaciers, ce mode de distribution des galets l'appuie, au contraire, puisque nous voyons la même chose se produire sous nos yeux. De toute manière il doit être plus difficile d'expliquer des circonstances pareilles par les autres théories.

Une circonstance dont on n'avait pas tenu compte jusqu'ici et qui est d'un grand poids pour la théorie des glaciers, c'est qu'une grande partie des blocs et des cailloux du diluvium sont burinés comme les roches sur lesquelles ils reposent, avec cette différence cependant que les stries ne suivent aucune direction prépondérante. J'ai vu plusieurs localités, dans la coupe du chemin de fer, près de Copenhague, où la majorité de galets et des blocs sont rayés absolument comme ceux qu'on trouve dans le diluvium de la plaine suisse et dans les Vosges. J'en ai recueilli de fort beaux échantillons à Faxö et à Lellingén dans le Seeland. J'en ai aussi remarqué parmi les blocs de granite et de diorite accumulés devant le port de Kiel. Je les ai retrouvés dans le diluvium de Berg, près du lac Roxen dans l'Ostgothie, et j'ai fait la remarque que les blocs, dont on a construit les portes cyclopéennes des ailes du palais royal de Stockholm, sont en grande partie rayés, surtout les blocs de diorite. Le diluvium de Norvège n'en est pas non plus dépourvu; j'en ai trouvé dans les talus limoneux des bords de la Drammen, à l'entrée du fiord de ce nom, ainsi que près de Krogleben et dans les environs mêmes de Christiania. La seule différence qui existe sous le rapport des galets striés entre la Scandinavie et la Suisse, c'est que dans ce dernier pays, ce sont surtout les galets et les petits blocs qui sont burinés, tandis qu'en Scandinavie ce sont de préférence les gros blocs. Il paraîtrait que, sous ce rapport, le diluvium du Nord a plus de rapport avec celui d'Écosse qu'avec celui de Suisse et des Vosges.

Les stries des galets, comme celles des roches polies en place, sont tout à fait indépendantes de la nature minéralogique des roches. On trouve en Scandinavie des galets striés de granit, de syénite,

de calcaire , de diorite et même de grès ; mais les mieux conservés sont ordinairement ceux de diorite (1).

Les dépôts diluviens de la Scandinavie sont fréquemment stratifiés , mais d'une manière irrégulière. On n'y trouve que rarement de ces assises continues , s'étendant sur de grandes surfaces. Ce sont de petits bancs très limités , d'une inclinaison et d'une épaisseur variables qui indiquent une action inégale des eaux , comme ceux que l'on a désignés sous le nom de stratification torrentielle dans le diluvium suisse.

Mais il est une particularité qui distingue le diluvium scandinave et qu'on ne retrouve pas en Suisse , c'est la présence de coquilles marines. On en a recueilli au milieu des dépôts les plus variés , dans le sable , le limon et même au milieu des cailloux. Il y a certaines localités , en Norvège , où ils sont tellement nombreux , que les indigènes ont désigné la couche qui les renferme sous le nom de *couche à coquilles* (skalenskigt).

Ces coquilles appartiennent , sans exception , à des espèces qui existent actuellement ; mais toutes n'habitent pas le littoral de la Scandinavie. Parmi celles que MM. Keilhau et Lovén ont recueillies en Norvège et en Suède , il en est un grand nombre qui vivent exclusivement sur les côtes du Groënland et de l'Islande , et quand on examine une collection de ces coquilles , on s'aperçoit bientôt qu'ils ont un caractère plus arctique que la faune actuelle des côtes de Suède.

Ce résultat est important en ce qu'il prouve qu'à l'époque où ces animaux vivaient sur les côtes de Scandinavie , la température y était sensiblement plus basse que de nos jours , ce qui confirme les conclusions que M. Agassiz avait tirées de l'étude des fossiles récoltés par M. Smith de Jordan-Hill , dans l'argile des bords de la Clyde , et d'où il avait conclu que pendant l'époque glaciaire la température moyenne de l'Europe devait être d'environ 8° plus basse que de nos jours.

Des rapports qui existent entre le phénomène erratique du Nord et les soulèvements de la Scandinavie.

Après avoir fait ressortir dans les pages précédentes les analogies qui existent entre le terrain diluvien du Nord et les phénomènes

(1) M. Desor a fait voir à la Société des échantillons de ces différentes roches rayées.

glaciaires des Alpes , il me reste maintenant à traiter des caractères propres du phénomène scandinave dont on ne retrouve pas de trace en Suisse , parce qu'ils se lient de la manière la plus directe aux changements de niveau que le sol de la Scandinavie a éprouvés pendant l'époque diluvienne et qui se continuent encore sous nos yeux.

Voici d'abord quelles sont ces particularités : 1^o le fait que les sulcatures plongent *sous* le niveau actuel des eaux ; 2^o la présence de *coquilles marines* fixées sur les roches polies à une hauteur bien supérieure au niveau actuel de la mer ; 3^o la présence de coquilles marines , dans l'intérieur du diluvium , jusqu'à une hauteur de 800 pieds ; 4^o enfin les *œsars* ou chaussées de Géants qui renferment des coquilles de la Baltique.

Parmi ces phénomènes , qui sont autant de preuves de l'instabilité du sol de la Scandinavie , il en est qui témoignent d'un relèvement du sol et d'autres qui attestent au contraire un abaissement. Ainsi , on ne saurait imaginer une preuve moins équivoque d'un relèvement , que la présence , à de grandes hauteurs et à une distance considérable des côtes , de coquilles appartenant à des espèces vivant aujourd'hui dans les mêmes parages , et dont l'état parfait de conservation ne permet pas de douter qu'elles n'aient vécu en place. Aussi bien , si elles avaient été transportées par un courant ou quelque autre agent violent , elles seraient sinon brisées , du moins roulées en grande partie. Mais à supposer qu'on voulût néanmoins contester leur autochthonéité , on ne pourrait en aucune manière récuser le témoignage des serpules de Christiania , et des balanes d'Uddevalla , dont les têts sont encore aujourd'hui adhérents aux rochers.

En opposition avec ce témoignage du soulèvement du sol , nous trouvons cet autre fait non moins significatif des stries et des canelures se prolongeant *sous les eaux de la mer* , non seulement sur quelques points isolés de la côte , mais sur tout le pourtour du littoral , et nous fournissant ainsi la preuve qu'à une certaine époque le sol de la Scandinavie a dû être plus élevé qu'il ne l'est maintenant. En effet , c'est un point sur lequel les partisans des différentes théories sont à peu près d'accord , que le phénomène erratique n'a pu s'effectuer que sur un sol émergé. Les glaciers en particulier ne peuvent avancer qu'à la condition de reposer sur le sol , et nous savons par les observations de M. Martins (1) que même les glaciers du Spitzberg ne se prolongent pas sous la mer ; car , comme

(1) *Bibliothèque universelle de Genève* , juillet 1840.

la mer est en été à une température supérieure à zéro, elle les fond à leur base par son contact, si bien qu'à la marée basse le glacier est séparé de la surface de l'eau par un espace qui correspond à la hauteur des marées (1).

Or si, comme je crois l'avoir suffisamment prouvé, les pols du Nord ont été occasionnés par d'immenses glaciers, qui ont transporté au loin les blocs erratiques de la Scandinavie, et fourni les matériaux du diluvium et des césars; il en résulte que toutes les contrées qui portent des traces de sulcatures doivent avoir été exon-
dées, lorsque les glaciers ont façonné leurs reliefs et y ont gravé les stries et les sillons que nous y voyons, et, par conséquent, que le sol de la Scandinavie était à cette époque plus haut que maintenant, *de toute la quantité dont les stries plongent dans la mer.*

Ces résultats, quoique opposés, ne sont pas contradictoires, comme on pourrait le croire au premier abord, et c'est ici que l'observation des coquilles vient compléter l'étude des phénomènes erratiques proprement dits, en nous montrant l'ordre chronologique de ces événements. En effet, si les balanes d'Uddevalla et les serpules de Christiania, qui se trouvent, les unes à 200 pieds, les autres à 170 pieds au-dessus de la mer, démontrent d'une manière indubitable que la côte s'est abaissée en ces points, le fait que ces animaux sont adhérents à des *rochers striés* prouve d'une manière non moins certaine que ces rochers avaient déjà été à sec avant la venue de ces animaux, d'où il faut tirer la double conséquence, 1° que le burinage des rochers est antérieur à l'époque des balanes et des serpules, 2° que pour recevoir ces animaux, les côtes d'Uddevalla et de Christiania ont dû s'abaisser d'une quantité équivalant pour le moins à la hauteur actuelle de ces coquilles.

Mais les balanes et les serpules ne sont pas les seuls témoins de cet affaissement; il existe des coquilles superposées aux roches polies et striées à une bien plus grande hauteur dans l'intérieur du diluvium, et comme les espèces sont en grande partie indigènes, et probablement contemporaines des serpules et des balanes, on est en droit d'en conclure que l'abaissement a été plus considé-

(1) Pour que les glaciers pussent avancer sur le fond de la mer, il faudrait que la température de l'eau fût pendant toute l'année inférieure à zéro. Or, un climat pareil rendrait impossible la formation de glaciers. Ce qu'il faut aux glaciers, ce n'est pas une température excessive, mais avant tout un climat humide. Or, de pareilles conditions sont incompatibles avec une température de la mer qui se maintiendrait constamment au-dessous de 0°.

nable , et qu'il a égalé au moins la hauteur des gîtes les plus élevés de coquilles diluviennes (800 pieds).

Cet abaissement a par conséquent eu lieu entre l'époque du burinage et celle de la stratification du diluvium. A cette époque , les glaciers ayant quitté la plaine pour se retirer dans l'intérieur des montagnes , les eaux de la mer envahirent toutes les terres basses de la Scandinavie , formant autour du massif des monts scandinaves un vaste océan , dont on pourra fixer quelque jour les limites , au moins approximatives , quand on connaîtra la circonscription des coquilles diluviennes. En attendant , l'analogie des dépôts erratiques de la Finlande avec ceux de la Scandinavie permet de supposer qu'à cette époque le golfe de Bothnie n'était pas séparé de la mer du Nord.

Nous n'avons aucun moyen de déterminer la durée du temps qui s'est écoulé entre le retrait des glaciers et cet abaissement du sol , qui a amené l'invasion de la mer. Cependant il est un fait qui semble prouver que cette période n'a pas été bien longue , c'est la belle conservation des polis sous le diluvium. Nulle part les cannelures et les stries ne sont plus distinctes que là où l'on vient de dégager le rocher de sa couverture diluvienne. D'ordinaire elles forment un contraste frappant avec les roches moutonnées dont la surface est à découvert , et qui ont subi de tout temps l'influence des agents atmosphériques (1). Or , comme nous n'avons nulle raison de supposer que l'action des agents atmosphériques ait été autrefois moins énergique qu'elle ne l'est de nos jours , je suis porté à croire que si les surfaces polies sont si bien conservées sous le diluvium , c'est parce qu'elles n'ont pas été exposées longtemps à l'action de l'atmosphère. Il est même probable que l'envahissement de la mer a été l'une des causes qui ont activé , sinon déterminé la destruction des grands glaciers. L'on expliquerait ainsi le caractère plus boréal de la faune du diluvium , attendu qu'une masse de glace aussi considérable n'a pu se fondre sans refroidir considérablement les eaux qui la baignaient. Plus tard , ce foyer de froid ayant disparu , la température s'est réchauffée , et la faune des mers

(1) Il est permis de croire que si , par suite d'un nouveau cataclysme , les surfaces moutonnées qui sont aujourd'hui à nu se trouvaient recouvertes de gravier , les géologues des âges futurs auraient beaucoup plus de peine à déchiffrer les causes qui ont produit ces formes que nous n'en avons aujourd'hui , aidés que nous sommes par l'état de conservation souvent admirable des polis , des cannelures et des plus fines stries.

a pris peu à peu le caractère plus tempéré qui la distingue aujourd'hui.

C'est à cette époque de l'envahissement de la Scandinavie par les eaux qu'il faut faire remonter la disposition en *couches irrégulières* du limon, du sable, du gravier et de tous ces matériaux du diluvium, que le grand glacier avait laissés en place, comme autant de témoins de son ancienne extension. L'action de la vague, en venant remanier ce sol meuble, y a entassé et enterré les débris des corps marins morts sur la plage, lesquels se sont ainsi trouvés mêlés aux blocs et aux galets rayés. Si telle est réellement l'origine de ces dépôts, il ne faut pas s'étonner que les galets rayés y soient si peu nombreux. La vague, en les frottant les uns contre les autres, les a plus ou moins usés, et si les blocs d'un certain volume ont généralement mieux conservé leur burinage que les galets, c'est parce qu'étant plus lourds ils étaient moins exposés à être remués et roulés. Il est tout naturel dès lors qu'en Suisse, où l'action des eaux a été moins sensible, et en tous cas moins prolongée, les cailloux striés soient plus nombreux : aussi ne rencontre-t-on qu'accidentellement des couches bien distinctes dans les terrains vraiment glaciaires. Celles qu'on a signalées se trouvent ordinairement dans le voisinage des torrents (1).

Après cette époque d'immersion le sol scandinave a de nouveau été émergé. Les plages voisines du massif central, les plaines de la Suède et celles de la Finlande sont sorties successivement du sein des eaux, ramenant avec elles à la surface ce même limon et ce même gravier diluvien que les glaciers y avaient déposé, et qui n'avait subi d'autre changement dans l'intervalle, que de s'être irrégulièrement stratifié et mélangé de coquilles. Les dépressions du sol sont seules restées couvertes d'eau, et ont formé les lacs de la Suède et de la Finlande, ainsi que le golfe de Bottnie. Ce dernier, isolé de l'Océan par l'effet de l'exhaussement des terres intermédiaires, a perdu peu à peu de sa salure, ce qui explique le caractère de sa faune, qui est plutôt une faune saumâtre qu'une faune marine. Les lacs intérieurs au contraire se sont transformés complètement en lacs d'eau douce, ce qui n'empêche pas qu'on ne retrouve çà et là des indices de leur ancienne composition. Il paraîtrait que certains poissons ont résisté à ces changements de l'eau, et, d'après les recherches des zoologistes scandinaves, en particulier de M. Esmark, la Truite des lacs suédois (*Salmo Trutta*, L.)

(1) Rod. Blanchet, *Terrain erratique alluvien du bassin de Léman*.

ne serait point une espèce propre, mais seulement une variété du Saumon commun (*Salmo Salar*, L.). Or, comme le Saumon des côtes ne remonte pas dans ces lacs, on est tout naturellement conduit à en conclure que ce poisson a résisté aux modifications survenues dans le milieu qu'il habite.

L'émergence des terres n'a pas dû se faire d'un seul coup, et les belles observations de MM. Keilhau et Bravais, sur les anciennes lignes de niveau de la mer scandinave, nous apprennent qu'elle n'a pas non plus été uniforme partout. C'est à cette période d'émergence lente, qui constitue la troisième phase du phénomène erratique, qu'il faut faire remonter la formation des *œsars*.

Les *œsars* sont des amas de terrain meuble, étrangers au sol comme les matériaux du diluvium, mais il y a cette différence, qu'au lieu d'être répartis sur de grands espaces, ce sont des collines étroites en forme de remparts nivelés à leur sommet, ce qui leur a valu dans le pays le nom de chaussées des Géants.

Tous les *œsars* qu'on a signalés jusqu'à présent se trouvent dans le pays plat, ordinairement dans le voisinage des côtes (1). Si tous ne sont pas parallèles entre eux, comme on le croyait autrefois, ils suivent, du moins en général, la direction du littoral.

Les matériaux dont ils se composent ne sont pas entassés pêle-mêle comme dans le diluvium; on observe au contraire un certain triage suivant leur volume. Sur tel point, la plupart des débris ont le volume de la tête; ailleurs ils n'atteignent que la grosseur du poing; ici c'est du gravier; ailleurs encore du sable et jusqu'à du limon. Les cailloux et les galets sont toujours mieux arrondis et plus lisses que ceux du diluvium; en revanche, ils ne sont pas striés, ou s'il en existe quelques uns qui aient conservé des stries, c'est une rare exception.

Il est rare qu'on n'observe pas une certaine stratification dans ces *œsars*, mais elle est encore plus irrégulière que dans le diluvium. Tantôt ce sont de petits bancs de gravier qui alternent avec des bancs de sable ou de limon, ou bien des galets qui alternent avec du gravier. Les bancs sont souvent très limités et offrent des variations brusques sous le rapport de l'inclinaison. Ainsi, une couche inclinée de 20° reposera sur une couche de 40°; un peu plus bas, il y aura quelques bancs horizontaux sous-jacents à des

(1) Voyez la carte qui accompagne le Mémoire de M. Brongniart dans les *Ann. des sc. nat.*, 1828, t. XIV. — M. Durocher a montré depuis que la direction des *œsars* coïncide en général avec celle des sulcatures. Voy. *Bull. Soc. géol.*, 1846, t. IV, p. 36.

lits de 10°, etc. J'ai vu en plusieurs endroits des débris de végétaux interposés entre ces différentes couches, mais ils n'avaient guère que quelques millimètres d'épaisseur, ils étaient réduits à l'état de lignite et presque méconnaissables. Je ne doute cependant pas que M. Steenstrup ne parvienne à nous faire connaître leur véritable nature. Il est à présumer que ce sont des débris de plantes marines.

Les œsars renferment aussi des coquilles, mais il y a cette différence avec celles du diluvium, que, comme l'a montré M. Lyell, toutes les espèces, sans exception, sont identiques avec celles qui vivent aujourd'hui dans la Baltique, tandis que nous venons de voir que les espèces du diluvium ont leurs analogues dans la mer du Nord et en partie dans les mers arctiques.

Ces différences sont trop essentielles pour qu'on ne doive pas, à l'avenir, séparer les œsars du diluvium proprement dit. Les matériaux dont ils se composent ont sans doute été transportés primitivement dans les lieux qu'ils occupent, par le même agent (selon nous, le grand glacier qui recouvrait toute la Scandinavie); mais leur forme et leur structure actuelles sont dues à des influences subséquentes qui n'ont pas agi de la même manière sur le diluvium de l'intérieur.

M. Forchhammer me semble être de tous les auteurs celui qui a donné l'explication la plus satisfaisante des œsars, en les rattachant au soulèvement lent de la côte scandinave. Il existe le long des côtes du Jutland et des îles danoises, des bancs de sable et de cailloux qu'on désigne sous le nom de *raveler*, et qui se maintiennent à un niveau constant, à peu près à fleur d'eau, de manière à rendre la navigation très difficile le long des côtes. Ces *raveler*, qui rappellent à bien des égards les cordons littoraux de M. Élie de Beaumont, sont surtout fréquents entre le Mariagerfiord et le Liemfjard, s'accroissent continuellement par l'effet des vagues qui viennent y déposer de nouveaux matériaux amenés de la plage. Suivant la force du vent et la violence des vagues, les matériaux accumulés sont plus ou moins grossiers, et ce sont ces alternances qui déterminent la stratification imparfaite qu'on remarque dans tous les œsars.

Quelquefois on rencontre aussi de gros blocs anguleux à la surface des œsars, qui affectent même des positions très bizarres, comme ceux que M. Daubrée (1) a décrits et représentés. Il est probable que ceux-là ont été déposés par des glaces flottantes (2).

(1) *Bull. Soc. géol.*, t. XIV, p. 573.

(2) Suivant MM. Murchison et de Verneuil les blocs anguleux qui

Les glaçons qui transportaient de pareils blocs devaient , par cela même que leur poids en était augmenté , s'enfoncer plus profondément , et l'on conçoit qu'ils aient été retenus au sommet de ces digues, lorsqu'elles étaient sous-marines. On peut présumer dès lors que , si les côtes des îles danoises s'élevaient tout d'un coup d'une dizaine de mètres , on verrait au milieu des surfaces fraîchement exondées , de nouveaux césars ou chaussées de Géants couronnés çà et là de blocs erratiques.

Il est probable que les césars de la côte orientale de la Suède n'ont pas été exondés tous à la fois , mais successivement , et nous avons des preuves certaines que l'émersion d'une partie d'entre elles s'est effectuée pendant l'époque historique. Il suffit de rappeler les débris de la cabane qu'on a trouvée dans l'intérieur de l'césar de Soedertelge (1) en creusant le canal qui unit le lac Maelar avec la Baltique. A cette époque le golfe de Bottnie était beaucoup plus large que maintenant , ainsi que l'attestent une foule de monuments historiques. Il suffit de rappeler la ville de Tornéo , autrefois un port de mer , et qui maintenant est à plus d'une lieue dans l'intérieur des terres. Les rives , graduellement mises à sec , se sont couvertes sur beaucoup de points d'une abondante végétation de tourbe , qui est devenue le tombeau d'un peuple aborigène fort différent des Scandinaves actuels par ses caractères ostéologiques , et dont les armes et les ustensiles qu'on trouve associés aux squelettes indiquent un peuple chasseur et pêcheur très peu avancé dans la civilisation (2). Ces tourbières recèlent en outre les restes d'animaux , dont les uns ne vivent plus dans ces contrées , tel que le Renne , et dont les autres ont complètement disparu , comme le *Bos urus* , que M. Nilson envisage comme la souche de nos bœufs domestiques , et dont il existe un fort bel exemplaire au muséum de Lund (3) , provenant des tourbières de

entourent le lac Wenjan en Dalécarlie auraient aussi été transportés par des glaces échouées.

(1) Lyell , *Philosophical Transact.* , 1835. Trad. franç. par M. Coulon , dans les *Mém. de la Soc. des sc. nat. de Neuchâtel* , vol. I. — L'usage a consacré le nom d'*césar* , au singulier comme au pluriel , quoiqu'il soit le pluriel du mot *ås*.

(2) Les armes et les ustensiles qui accompagnent ces squelettes au milieu des tourbes sont tous , sans exception , taillés en pierre à feu , tandis que les armes qui accompagnent les crânes de race celtique sont en bronze. Voyez sur ce sujet l'ouvrage remarquable de M. Nilson.

(3) Le fait suivant nous fournit la preuve évidente que ce bœuf était contemporain du peuple chasseur mentionné ci-dessus. L'une des apo-

Scanie. Or, comme ces tourbes se rencontrent en plusieurs endroits *sous les césars*, c'est une preuve que ces césars sont de notre époque.

Résumé.

Je crois avoir prouvé dans ce Mémoire :

1° Qu'il existe la plus grande analogie entre le phénomène erratique du Nord et celui des Alpes, malgré les objections que l'on a élevées contre l'application de la théorie glaciaire aux régions scandinaves ;

2° Que les traits propres du phénomène du Nord sont une conséquence des changements de niveau auxquels le sol de la presqu'île est assujetti ;

3° Que ces changements de niveau ne sont pas limités à l'époque historique, mais qu'ils remontent au-delà du diluvium ;

4° Que depuis lors le sol de la Scandinavie a éprouvé des soulèvements et des abaissements successifs.

J'ai distingué trois mouvements principaux qui correspondent aux principales phases de l'époque diluvienne, savoir : 1° un premier soulèvement, pendant lequel le sol était plus exhaussé que maintenant, c'est la période des glaces ; 2° un affaissement général entraînant à sa suite l'*envahissement* des plaines de la Scandinavie par la mer ; 3° l'émersion de ces mêmes plaines, qui se continue encore sous nos yeux, l'époque des césars. J'ai représenté ces trois périodes d'une manière graphique dans la fig. 1 de la planche II qui représente une coupe idéale de la Scandinavie de l'O. à l'E. (1).

physes dorsales du squelette du Muséum de Lund est percée d'un trou qui se continue dans l'apophyse de la vertèbre suivante. Ce trou est entouré d'une callosité qui indique que la blessure s'est cicatrisée pendant la vie de l'animal. En examinant attentivement ce trou, M. Nilson s'est assuré que sa forme correspond exactement à celle des lances en pierre à feu, qui était l'arme principale de ce peuple.

(1) Il est une troisième théorie, une sorte de terme moyen entre la théorie glaciaire et celle des courants, qui consiste à attribuer le poli et le striage des rochers à des glaces flottantes qui auraient façonné les récifs et les bas fonds par leur base, en même temps qu'ils auraient déposé les blocs dont ils étaient chargés. Cette théorie, proposée en premier lieu par M. Bronn (1), et développée plus tard par MM. Murchison (2) et de Verneuil, admet, comme la théorie glaciaire de

(1) *Jahrbuch de Leonhard et Bronn*, 1842, t. X, p. 70. Trad. franç. *Ann. de géologie*, t. 1.

(2) *Quarterly Journal of the geological Society of London*, 1846, t. 11, p. 349.

Chacune de ces périodes a dû être d'une certaine durée. L'on conçoit, en effet, que pour qu'un agent se mouvant aussi lentement qu'un glacier ait pu transporter à la distance de plusieurs centaines de lieues des blocs et tout un terrain arraché aux montagnes de la Norvège, il ait fallu un temps fort long, dont le minimum serait de plusieurs milliers d'années, si l'on prenait pour base le mouvement des glaciers les plus accélérés de notre époque.

La seconde période a dû être au moins aussi longue si l'on considère le temps qu'il faut pour qu'une faune tout entière puisse vivre, se propager et laisser des dépouilles nombreuses sur un sol autrefois exondé.

Enfin, la troisième période comprend l'époque historique, de-

M. Agassiz, un climat plus froid que celui de l'époque actuelle, qui aurait permis aux glaciers de la Scandinavie de s'avancer jusqu'au débouché des vallées. La Scandinavie, selon M. Murchison, en se soulevant du sein de l'océan glacial qui recouvrait tout le nord de notre hémisphère, aurait occasionné des courants violents capables de façonner le sol des plaines du Nord, et poussé vers le Sud une quantité considérable de glaces flottantes chargée de détritiques des monts scandinaves. Cette migration des glaces aurait été entretenue plus tard par les éboulements des glaciers septentrionaux. Partant de cette hypothèse, l'auteur anglais rapporte à une même époque le burinage des rochers et la disposition des coquilles boréales dans le diluvium.

Si les choses s'étaient réellement passées de la sorte, il faudrait qu'on trouvât de ces coquilles aussi loin qu'on a signalé des blocs erratiques; or, on n'a jusqu'ici constaté leur présence que dans le diluvium de Scandinavie et de Finlande. D'un autre côté, en faisant intervenir des courants marins comme cause des sulcatures, la théorie de M. Murchison encourt le même reproche qu'on a si justement fait à la théorie des courants terrestres, c'est d'attribuer à l'eau une faculté tout à fait imaginaire. Quant aux glaces flottantes, je conçois qu'elles puissent, dans certaines circonstances, user et strier les récifs sur lesquels elles passent, mais il m'est impossible d'admettre qu'un système de sulcatures aussi uniforme, aussi continu et aussi régulier que celui des plaines de la Suède, ait pu être gravé à la surface de tout un pays par des agents aussi mobiles que des radeaux de glace.

Enfin, la théorie de M. Murchison a le désavantage de faire intervenir deux agents sulcateurs, les glaciers pour les pays de montagnes, et les glaces flottantes pour les plaines et les plateaux. Or, pour quiconque a observé les stries dans les différentes parties de la Scandinavie, il est de toute évidence qu'elles ont partout le même cachet. Celles des plaines de la Suède ne diffèrent pas plus de celles des vallées de la Norvège, que celles de la plaine suisse et des flancs du Jura ne diffèrent de celles des vallées alpines.

puis la prise en possession de ce sol par les populations de races étrangères dont nous trouvons les débris au fond des tourbières du Nord.

Ainsi donc l'époque glaciaire n'est pas un simple accident dans l'histoire de notre globe : c'est une longue période, dont l'histoire est d'autant plus importante pour la géologie, qu'elle fait le passage des époques antédiluviennes aux temps historiques.

Séance du 7 décembre 1846.

PRÉSIDENTENCE DE M. DE VERNEUIL.

M. Bayle, vice-secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

Le professeur ANSTED, vice-secrétaire de la Société géologique de Londres, Sommerset-House, Londres, présenté par MM. de Verneuil et le V^{te} d'Archiac ;

James TENNANT, professeur de minéralogie à King's College, Sommerset-House, Londres, présenté par MM. de Verneuil et le V^{te} d'Archiac ;

FARAGUAY, capitaine du génie, à Paris, rue de l'Université, 52, présenté par MM. Le Blanc et Merlin.

Le Président annonce ensuite huit présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. J. Fournet : 1^o *Notes additionnelles aux Mémoires sur les silices farineuses des départements du Puy-de-Dôme et de l'Ardèche* (extr. des *Ann. de la Soc. roy. d'agric., hist. nat. et arts utiles de Lyon*) ; in-8^o, 8 p. Lyon...

2^o *Note sur le plomb molybdaté rouge de Chenelette* (Rhône) (extr. des mêmes *Annales*) ; in-8^o, 1 p. Lyon.....

3^o *Mémoires sur les tremblements de terre dans le bassin*

du Danube, par M. Alexis Pierrey (extr. des mêmes *Annales*).

De la part de M. le Dr Eugène Robert, *Recherches sur les mœurs et les ravages de quelques insectes xylophages*, etc.... (6 brochures réunies), in-8°, 120 p., 4 pl. Paris, 1846.

De la part de M. le Dr J. Teissier-Rolland, *Études sur les eaux de Nîmes et de l'aqueduc romain du Gard*; t. II, 2^e partie, in-8°, p. v—LXXVII et 321—562. Nîmes, 1846.

De la part de M. Charles Darwin, *Geological observations*, etc. (Observations géologiques sur l'Amérique du Sud); in-8°, 268 p., 1 carte, 5 pl. Londres, 1846.

De la part de M. L. Pareto : 1^o *Sulla costituzione geologica*, etc. (Sur la constitution géologique des îles Pianosa, Giglio, Giannutri, Monte-Cristo et Formiche di Grosseto); in-8°, 20 p., 3 pl. Pise, 1845.

2^o *Cenni geognostiche*, etc. (Aperçus géognostiques sur l'île de Corse); in-8°, 38 p., 2 pl.....

De la part de M. le baron de Cussy, *Carta geographica*, etc. (Carte géographique, statistique et géognostique de la partie de la Sicile où existe la masse des calcaires sulfureux, contenant la vallée de Caltanissetta et partie de celle de Girgenti, Catane et Palerme), par Joseph Senès; 1 feuille grand-aigle. Palerme.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1846, 2^e semestre, nos 20—22.

L'Institut, 1846, nos 672—674.

Société royale d'agriculture de Paris. — *Compte-rendu des travaux de la Société depuis l'exposition de 1845*, par M. Bailly de Merlieux; in-8°.

The London geological journal; août—septembre 1846.

The quarterly Journal of the geological Society of London; n° 8, novembre 1846.

The Athenæum, 1846, nos 995—997.

The Mining Journal, nos 587—589.

Nova acta Academiae naturæ curiosiorum; t. XXI, pars secunda, 1845.

M. Michelin offre à la Société :

3 échantillons de Bélemnites du col d'Anterne, près de Servos (Savoie);

1 échantillon de Bélemnite de la Gemmi (Suisse);

1 fragment d'un bloc erratique à surface polie du glacier des Bossons , près de Chamonix ;

2 galets striés , recueillis sous les glaciers des Bossons et de Taconnet , près de Chamonix ;

Ces trois derniers échantillons recueillis par MM. Édouard Collomb et Michelin.

M. le vice-secrétaire donne lecture d'une lettre de M. de la Marmora , qui envoie à la Société les prospectus d'un prix proposé pendant le congrès de Gênes pour le Mémoire qui sera présenté sur la question des Nummulites et surtout des terrains nummulitiques du midi de l'Europe.

Le Secrétaire pour l'Étranger donne lecture de la lettre suivante de M. Studer :

Lettre de M. B. Studer à M. Martins sur les coins calcaires intercalés dans le gneiss des Hautes Alpes bernoises.

Berne, le 16 novembre 1846.

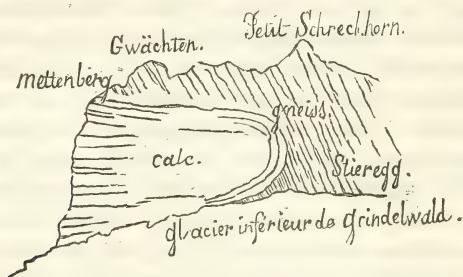
Lorsque pour la première fois, c'était je crois en 1831 , je visitai le Roththal et l'Urbach-Sattel, je crus pouvoir expliquer ces grands coins de calcaire qui entrent dans le gneiss et les autres singularités dans le gisement des deux roches , par un refoulement de terrains calcaires , qui auraient été soulevés , brisés et repliés sur eux-mêmes pendant l'épanchement du granite ou du gneiss. C'est dans ce sens , à peu près , que je me suis exprimé dans la lettre à M. Boué , insérée dans le t. II du *Bulletin* , p. 51 , et la figure explique assez mes idées d'alors. Depuis ce temps j'ai fait mes voyages dans les Grisons , en Valais et en Italie , et je me suis familiarisé avec les idées de métamorphisme qui , dans ces derniers pays , se présentent au géologue presque à chaque pas. J'avais vu des schistes fossilifères passer insensiblement au micaschiste , talcschiste et au gneiss , et j'avais acquis la conviction que les gneiss dériveraient d'anciennes roches sédimentaires. Cette manière de voir devait naturellement me fortifier dans l'opinion de de Saussure , qui , après avoir passé sa vie au milieu des plus hautes montagnes de gneiss , regardait les strates de cette roche comme de véritables couches. J'adoptais les vues de Playfair , généralement admises , que les plans de séparation des strates de gneiss étaient les dernières traces de l'ancienne stratification sédimentaire. La structure de nos massifs de gneiss , cependant , est

assez singulière. Vous connaissez les coupes en éventails ouverts en haut que présentent les massifs du Mont-Blanc, du Saint-Gothard, du Grimsel, ces couches verticales de gneiss granitique sur l'axe même du massif, et celles des deux versants plongeant vers l'axe. En admettant l'horizontalité primitive de ces couches, on a besoin d'un grand effort d'imagination pour se former une idée nette du mouvement qui a pu produire une structure pareille, et, en supposant que, ce qui se présente d'abord, les couches aient été soulevées des deux côtés et forcées dans une position verticale par une pression latérale, on ne trouve pas, dans ces vallées étroites, la place nécessaire pour ce redressement en angle droit, et on devrait s'attendre à voir, en quelques points du moins, se former une vallée synclinale sur la crête du massif, puisqu'il ne serait pas naturel de supposer que la pression ait eu partout la même force. M. de Buch, si je ne me trompe, a donné une autre solution de ce problème embarrassant. Il regarde les couches du milieu, dans lesquelles la structure de gneiss est le moins prononcée, comme un véritable granite, un dyke qui, dans le retrait du refroidissement, aurait entraîné les schistes des versants en les forçant dans une position inclinée vers l'axe. Une opinion assez semblable paraît être celle de M. Necker, qui suppose à la base du massif une bosse granitique sur le contour de laquelle les couches de protogine seraient implantées à peu près comme les dents sur le contour d'une roue. C'est le désir de me procurer quelques nouvelles données qui pussent servir à la résolution de cette question épineuse, c'est l'obligation que je me sentais de ne pas laisser subsister des obscurités dans la géologie de mes environs, qui me décidèrent à reprendre l'examen des points les plus importants où le gneiss, dans l'Oberland bernois, se voit en contact avec le calcaire. Je crois, en effet, avoir constaté quelques faits décisifs qui, s'ils ne donnent pas la solution cherchée, la feront dépendre cependant de données précises qui dissiperont le vague dans lequel jusqu'ici elle me paraît avoir été enveloppée.

La coupe de la Jungfrau ou du Roththal, que nous avons suivie ensemble avec M. Brunner, n'est pas, par rapport à la question qui nous occupe, la plus instructive. L'on y voit, comme le montre le dessin de ma lettre à M. Boué, les deux coins de calcaire enchâssés dans le gneiss, et vous avez observé avec nous que les couches du coin supérieur sont repliées sur elles-mêmes. L'on voit aussi qu'en général les strates du gneiss sont inclinés au midi sous un angle de 45 à 60°, tandis que le calcaire en dehors des coins plonge au N. (l'extrait de ma lettre à Boué lui attribue

faussement une inclinaison contraire). Mais au contact la stratification du gneiss est peu distincte, et l'on reste indécis sur la manière par laquelle ses strates inclinés au midi se joignent au calcaire, s'ils se plient pour en suivre le contour, ou s'il y a une véritable discordance de stratification.

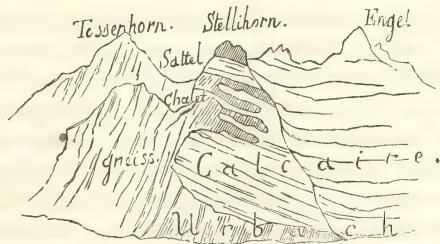
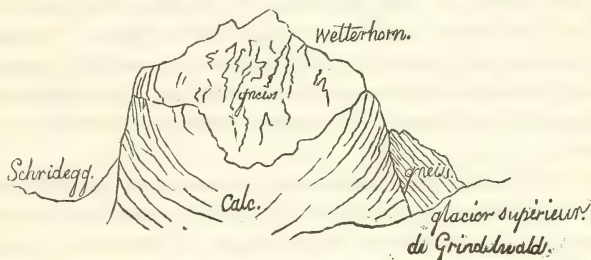
Cette lacune dans nos observations est remplie par la coupe du Mettenberg.



Le magnifique escarpement d'au moins 1000 mètres de hauteur que cette montagne présente au village de Grindelwald est calcaire ; mais les hauteurs qui le recouvrent et qui vont se lier à la cime du Grand-Schreckhorn sont de gneiss. Le calcaire y forme encore un coin dont la longueur, estimée de l'escarpement jusqu'au chalet de la Stieregg, vis-à-vis du Zaesenberg, doit être pour le moins d'une lieue. L'on peut atteindre la hauteur du Mettenberg en montant par des couloirs assez escarpés qui suivent à peu près le coude du coin calcaire, et l'on s'y convainc à l'évidence qu'en effet les couches du calcaire sont repliées sur elles-mêmes. Non seulement on les voit s'arquer et reprendre une position horizontale, mais la succession des diverses couches calcaires contiguës au gneiss sur la hauteur du Mettenberg est, en partant toujours de la ligne de contact, la même que celle que l'on observe à la Stieregg, c'est-à-dire que sur la montagne on trouve en descendant la même suite de couches que l'on trouve à sa base en montant. La stratification du gneiss est presque toujours assez distincte, elle l'est surtout à la Stieregg auprès du contact. L'inclinaison, à l'instar de celle au fond de la vallée de Lauterbrunnen, est au midi, sous un angle d'environ 45°, et à la Stieregg on ne conserve pas le moindre doute que réellement le calcaire et le gneiss sont en stratification discordante. J'ajouterai, par parenthèse, que la discordance est bien plus évidente que celle entre le schiste talqueux de Psychagnard, près de La Mure, en Dauphiné, et le terrain

anthraciteux, ou entre celui-ci et le lias, et qu'à plus forte raison on en pourrait conclure qu'à la Stieregg le gneiss est antérieur au calcaire. Cette conclusion cependant serait évidemment très fausse.

Nous avons vu, M. Brunner et moi, à peu près les mêmes faits sur la coupe opposée du Mettenberg, mise à découvert par le glacier supérieur de Grindelwald. L'on gagne le fond de ce glacier par un sentier assez scabreux qui traverse par le milieu à peu près les escarpements du Wetterhorn, de manière que pendant près d'une demi-heure l'on a à sa droite des précipices de plus de 1000 pieds de hauteur. Dans ce fond de glacier l'on se trouve vis-à-vis du Wetterhorn, dans la même position qu'à la Stieregg, par rapport au Mettenberg. Le calcaire plonge au N. sous un angle très fort; le gneiss qui lui est adossé, et qui fait partie des montagnes de gneiss qui séparent les glaciers de Grindelwald de ceux du Grimsel, est incliné au midi, et cela au contact même. La masse calcaire du Wetterhorn ressemble à une grande jatte remplie de gneiss; c'est comme si le coude du Mettenberg avait été écrasé par le poids qu'il supporte; c'est le poids d'une masse de gneiss de près de 2000 mètres d'épaisseur.



De Rosenlaur nous escaladâmes le glacier qui descend de la face opposée du Wetterhorn pour gagner le col d'Urbach ou Urbachsattel. Il y eut d'assez mauvais pas, parce que la grande fonte des neiges de cet été avait mis à découvert beaucoup de

crevasses qu'en d'autres années on traverse sans danger. La belle coupe, de laquelle j'ai donné un croquis dans la lettre à M. Boué, se trouve de l'autre côté du col. J'en répète ici la figure avec quelques corrections. D'abord, les coins de gneiss ne sont pas horizontaux, comme dans ma première figure; ils plongent au N., parallèlement à la stratification du calcaire; ensuite, la cime du Stellihorn est de gneiss, comme l'a vérifié M. Escher, lorsque nous fûmes ensemble dans la vallée d'Urbach en 1836. Un fait assez curieux se voit dans un couloir près du chalet de Lauerli, c'est un des coins de calcaire qui se brise dans le couloir et dont l'extrémité méridionale suit la stratification du gneiss comme une couche intercalée. On remarque d'autres couches semblables en descendant la montagne, mais il n'est pas aussi facile de les suivre jusqu'à leur origine. Auprès de la limite supérieure du calcaire du Mettenberg, il y a également des alternances de gneiss et de calcaire et des fragments de couches calcaires enclavées dans le gneiss. La stratification du gneiss au col d'Urbach et à la base de la montagne est très distinctement développée; on l'observe jusqu'à l'extrémité des coins qui s'engrènent entre le calcaire, et dans les premiers rochers surmontés de calcaire qui affleurent au-dessus du sol de la vallée. Partout les strates sont régulièrement inclinés au midi, de manière que, dans les branches qui s'entrelacent avec le calcaire, la stratification est doublement discordante, par rapport au toit comme par rapport au mur.

La conclusion la plus importante qui me paraît résulter de ces faits, c'est que la stratification du gneiss de ces montagnes ne peut être envisagée comme une stratification sédimentaire; la roche est, suivant une nouvelle expression assez heureuse, un granite schisteux. Mais, si l'on se rappelle que ces strates de gneiss, inclinés au midi, sont les mêmes que ceux qu'on traverse entre *im Grund* et *Guttannen* sur la route du Grimsel, et qu'ils font partie du grand massif en éventail qui sépare l'Oberland bernois du Valais, il est impossible de ne pas étendre la même conclusion à toutes les roches feldspathiques de ce massif, il est impossible de ne pas donner tort à de Saussure pour se ranger du côté du P. Pini et des autres géologues anciens qui ont nié la stratification du granite. Je ne me dissimule pas les grandes difficultés dans lesquelles ce résultat va nous plonger; je connais assez les alternances du gneiss avec les couches de grès à anthracites et avec les poudingues de Vallorsine; j'ai vu de mes yeux les passages insensibles de roches sédimentaires qui renferment des restes orga-

niques au gneiss et au micaschiste. Mais j'ai la conviction qu'un jour nos théories géologiques réussiront à rendre raison de tous ces faits, en apparence si contradictoires, et que nous approcherons d'autant plus vite de cette époque, que nous tâcherons d'envisager le problème sous toutes les faces qu'il nous présente.

Un autre résultat non moins évident, mais déjà admis dans la science, c'est que nécessairement la formation du gneiss et sa division schisteuse doivent être postérieures au dépôt du terrain calcaire. Or, ce calcaire renferme des fossiles jurassiques dans les coins mêmes qui alternent avec le gneiss, et du côté de Rosenloui il est surmonté par le terrain nummulitique qui a partagé ses dislocations. En admettant donc que ces dislocations aient été produites par le gneiss, celui-ci serait postérieur au terrain nummulitique alpin. Il se pourrait cependant, et plusieurs faits me portent à le croire, que l'événement qui a formé le relief de nos montagnes fût différent de celui auquel nous devons rapporter les plissements du calcaire et ses enchevêtrements avec le gneiss; il paraît que le terrain crétacé n'a pas pris part à ces contournements bizarres que nous voyons si souvent dans les Alpes, que nulle part il n'a été traversé ou recouvert par le gneiss, bien qu'il ait été porté avec sa base aux plus hautes sommités. En partant de cette dernière manière de voir, il faudra placer la formation du gneiss entre l'époque jurassique et l'époque crétacée. En calculant la force qui était nécessaire pour produire ces replis de montagnes entières de calcaire, on a tout lieu de s'étonner de la faible intensité des effets métamorphiques au contact du calcaire et du gneiss. Vous en avez fait la remarque avec nous au Roththal. Ils ne manquent pas, ces effets. On trouve sur la lisière du calcaire, des grès frittés, des calcaires dolomitiques, des schistes bigarrés; mais on dirait presque que les mêmes effets auraient dû se produire par la pression et le frottement seul. Souvent aussi ils manquent entièrement, le calcaire gris compacte schisteux touche immédiatement le gneiss; on voit même des strates calcaires, au plus de quelques pouces d'épaisseur, être enclavés dans la roche feldspathique, et garder tous les caractères du calcaire sédimentaire de nos Alpes. Les fossiles ne sont nulle part plus abondants que dans les couches les plus voisines du gneiss, et dans l'Urbachthal c'est surtout dans les coins calcaires qui alternent avec le gneiss qu'on trouve les Bélemnites et Ammonites aussi bien conservés que le sont les mieux conservés de nos fossiles alpins. L'union intime qui existe entre les deux roches, les alternances de couches calcaires et gneissiques, les enchevêtrements d'Urbach, ne permettent pas

de supposer que le gneiss, en se moulant sur le calcaire, ait été rigide. D'autre part, si on le suppose dans un état de fusion ignée, on devrait voir toute la masse calcaire passée à l'état de marbre. Mais ce sont là des contradictions qui sont presque à l'ordre du jour en géologie.

A la suite de cette lecture, M. Martins communique à la Société quelques autres détails accompagnés d'échantillons de ces coins calcaires intercalés dans le massif de la Jungfrau, qu'il a eu l'avantage d'étudier avec MM. Studer et Brunner, l'été dernier.

Lorsqu'on s'enfonce dans la vallée de Lauterbrunn, on marche entre deux escarpements calcaires, dont la hauteur est rarement inférieure à 300 mètres; mais à la bifurcation de la vallée, près du village de Sichelauinen, à l'entrée de l'Ammertenthal, le gneiss commence à se montrer dans le fond et sur les côtés de la vallée. Si l'on s'élève sur le contrefort oriental, qui est à la base du massif de la Jungfrau, on trouve au-dessus du chalet de Kufistein des couches contournées de dolomies reposant sur le gneiss, puis des bancs peu puissants de calcaire contenant de la sidérose, autrefois exploités. Ces couches sont surmontées de grands escarpements de calcaire jurassique de plusieurs centaines de mètres. Ces escarpements se prolongent dans le gneiss sous la forme de deux coins calcaires : l'un, inférieur, forme la base de la gorge de Roththal, et est en partie recouvert par le glacier du même nom; l'autre, supérieur, constitue une partie du sommet de la Jungfrau, dont la cime seule est gneissique.

Le point que nous avons examiné plus spécialement, M. Studer et moi, c'est la partie *supérieure* du coin calcaire inférieur, sur le bord septentrional du glacier. Les strates gneissiques sont couchées, sans contournements violents, sur les couches calcaires. Ordinairement on trouve une cavité, un intervalle de quelques décimètres entre le calcaire et le gneiss qui le recouvre. Quelquefois néanmoins ces deux couches sont soudées, comme on peut le voir sur un échantillon que je mets sous les yeux de la Société. Il est composé de dolomie fibreuse contenant 25 p. 100 de magnésie, soudée à une roche métamorphique pénétrée de substance calcaire. Les trois autres sont pris aux points de contact, où le gneiss est séparé du calcaire par l'intervalle que j'ai mentionné.

Le premier, ou supérieur, appartenait à la masse gneissique de

la montagne. Mon collègue M. Hugard l'a trouvé composé de mica, de quartz et de carbonate de chaux. La matière calcaire a donc pénétré le gneiss dont le feldspath a disparu. Le second n'était séparé du premier que par la cavité dont j'ai parlé. C'est un calcaire dolomitique d'un aspect grisâtre à l'extérieur, et riche en magnésie. La couche dont il fait partie n'a qu'un mètre environ d'épaisseur ; elle repose sur le calcaire noir sonore, à grains fins, que les géologues suisses désignent sous le nom de *Hochalpen-kalk*. Celui-ci, dont la cassure rappelle celle du calcaire à Entroques, contient encore un peu de magnésie.

Les effets métamorphiques du contact sont donc bien évidents dans ce point ; mais je n'oserais décider s'ils sont dus à une pénétration lente ou à des effets calorifiques ; tout ce que je puis affirmer, c'est que la régularité des strates du gneiss reposant sur le calcaire, dont elles sont séparées le plus souvent par un espace vide, ne donnent point l'idée d'une roche pyrogène en fusion, sortant de haut en bas à l'état liquide ou pâteux, pour s'épancher au-dessus du calcaire, et agir sur lui à la fois par sa pression et par sa haute température.

M. Rozet demande si les roches de la Jungfrau sont bien du gneiss ; il pense que ce sont des roches métamorphiques gneissiformes, mais pas de véritable gneiss.

M. Virlet fait observer à M. Rozet que le mot *gneiss*, étant un nom générique comme le mot *grès*, ne peut pas avoir de valeur géologique ; qu'une roche composée de mica et de feldspath, fût-elle secondaire ou même tertiaire, n'en devrait pas moins être appelée gneiss, aussi bien que la roche ancienne à laquelle on a donné depuis longtemps ce nom.

M. Martins répond que les roches de la Jungfrau sont de l'ordre des roches plutoniques formées de quartz, mica, ou talc et feldspath, associées en proportions variables, et qui, lorsqu'elles affectent la structure schisteuse, sont désignées par les géologues suisses sous le nom de gneiss.

M. d'Omalius d'Halloy dit que le massif de Gondo, cité comme gneiss, est, au contraire, composé de véritable protogène.

M. Martins lit la note suivante de M. Édouard Collomb :

Sur les dépôts erratiques des Vosges.

Pourquoi, dans les anciennes moraines des Vosges, les matériaux roulés et usés sont-ils beaucoup plus abondants que ceux à angles vifs, contrairement à ce qui se remarque en Suisse, où les moraines en voie de formation sont presque en entier composées de matériaux anguleux ? par M. Édouard Collomb.

Plusieurs observateurs, avec lesquels j'ai visité les dépôts erratiques des Vosges, ont été frappés de la prodigieuse quantité de blocs et de cailloux complètement arrondis et usés, et du petit nombre de blocs anguleux qu'on remarque sur nos anciennes moraines et sur nos dépôts latéraux. Ces mêmes observateurs, qui connaissent aussi les hautes régions de la Suisse, et qui ont eu l'occasion de voir des glaciers en activité, trouvent qu'il y a une différence telle, relativement à la forme des blocs, dans ces deux contrées, qu'ils refusent de croire que la même cause ait pu produire des résultats aussi dissemblables.

Il importe de lever tous les doutes à cet égard et de démontrer que si nos anciennes moraines sont presque en entier formées d'un rassemblement considérable de cailloux roulés, ce fait n'est point contraire aux théories déduites d'un nombre considérable de faits observés sur les glaciers mêmes.

Tous les géologues qui se sont occupés de la formation des moraines savent très bien qu'elles sont le produit, non seulement des éboulements de roches qui se précipitent des montagnes encaissantes sur la mer de glace, mais encore des matériaux que le glacier lui-même, par sa force de propulsion irrésistible, détache des parties latérales et inférieures exposées à son contact. Le nombre et la nature des débris qui couvrent la surface d'un glacier dépendent des pentes des montagnes qui l'entourent. Les glaciers encaissés par des pics très abruptes, par des masses de roches granitiques et gneissiques disposées naturellement à se séparer, à se cliver en fragments métriques, et qui sont à pentes fort roides, sont exposés à de fréquentes avalanches de pierres. Ces éboulements viennent augmenter le nombre des matériaux anguleux, et suivant la configuration de la localité, ils n'abandonnent point la surface du glacier; ils sont entraînés par son mouvement, et *restent anguleux* jusqu'au point de débarquement, le talus terminal.

Les glaciers de la Suisse, relégués dans les hautes régions, sont

en général dominés par des montagnes primitives de 1,000, 1,500 et même 2,000 mètres au-dessus des mers de glace. Ces montagnes plongent sous des angles très forts ; les avalanches de pierres y sont fréquentes ; les personnes qui ont séjourné sur les glaciers ont pu remarquer qu'il ne se passe pas de jour sans qu'on en voie quelque-une se détacher. Quelques glaciers ont leur surface , surtout près du talus terminal, complètement couverte de pierres, et leurs moraines sont presque en entier composées de fragments minéralogiques à angles vifs.

Ceux , au contraire , où l'on rencontre beaucoup de débris arrondis , et ils sont plus rares , sont en général des glaciers simples qui n'ont que des moraines marginales , et les débris se trouvent alors serrés entre la glace et la roche comme entre les mâchoires mobiles d'un étau , et finissent naturellement par s'arrondir.

Dans les Vosges , les phénomènes des temps passés ont eu lieu dans des conditions orographiques différentes. Nos glaciers n'étaient point dominés par de hautes cimes de 2,000 mètres ; ils n'étaient point encaissés dans un système de montagnes à pentes abruptes. Les sommets des Vosges ne présentent nulle part de pics gigantesques ; ils sont facilement accessibles , les pentes de 35° y sont fort rares. Dans nos recherches sur les anciens glaciers de cette contrée nous avons reconnu que pendant la période de leur plus grande extension ils étaient arrivés au point de présenter une épaisseur de 500 mètres. Ils étaient à cette époque dominés par des cirques neigeux qui ne s'élevaient pas au-delà de 500 mètres au-dessus du niveau des mers de glace. Dans un terrain pareil , et surtout avec des pentes moyennes aussi faibles , les avalanches de pierres devaient être fort rares , et , contrairement à ce qui se passe en Suisse , les matériaux ne devaient pas être abondamment répandus à la surface des glaciers. L'aliment principal des moraines à matériaux anguleux manquait , et par conséquent ceux arrondis et usés devaient y être relativement beaucoup plus abondants ; ces derniers provenaient donc de ceux que le glacier lui-même arrachait incessamment aux masses soumises à son frottement sur ses flancs et sur son fond.

De toutes les moraines que j'ai explorées avec soin dans les Vosges , je n'en ai rencontré que deux composées presque en entier de blocs et de cailloux qui ont conservé leurs angles intacts. L'une est située au fond de la vallée d'Urbès , à la distance de 1,000 à 1,200 mètres en aval du col de Bussang (1). Elle formait la tête

(1) Cette moraine ne figure pas sur ma carte (*Bulletin de la Société*

d'un petit glacier qui encombrait ce fond à la fin de la période glaciaire ; elle a 10 à 12 mètres de hauteur verticale ; elle barre le vallon transversalement ; son talus en aval est incliné de 30 à 35°. La nature minéralogique des débris offre peu de variétés d'espèces ; il n'y a point eu de transport lointain : on retrouve en place , sur une ligne de 800 à 1,000 mètres en amont , toutes les roches de cette moraine. Les parois du Drumont , que ce petit glacier était appelé à frotter, sont composées d'une roche de granite porphyroïde qui manque de solidité ; elle se sépare naturellement en fragments polyédriques avec la plus grande facilité. Le pied de la montagne en est encombré , non seulement par cette ancienne moraine , mais encore par les talus d'éboulement qui s'y forment tous les jours. Ces éboulements recouvrent sur certains points les débris erratiques ; mais , avec un peu d'attention , on peut facilement les distinguer les uns des autres.

La seconde moraine , à débris anguleux , est située en aval d'un petit lac qui s'appelle le *lac des Corbeaux* , commune de la Bresse (Vosges). Elle y forme un barrage naturel ; les industriels du voisinage ont fait de ce petit lac , dont la surface actuelle n'est que de 9 hectares carrés , un réservoir pour l'alimentation de leurs usines ; ils y ont établi une vanne d'écoulement ; la coupure pratiquée pour cet objet permet d'étudier l'intérieur de cet amas. Les matériaux accumulés sur ce point sont entassés sans ordre , sans classement ; ils ne se composent que d'une seule espèce de granite blanc , identique à celui des montagnes voisines ; de gros blocs anguleux , de 8 à 10 mètres cubes , sont posés à la surface de la moraine sur du sable et du gravier (pl. II , fig. B). Aucun de ces blocs ni des menus débris ne sont arrondis comme on en voit beaucoup dans les parties basses de nos vallées ; ils sont tous anguleux , les angles de quelques uns sont seulement légèrement écornés. Le fond de ce petit lac est couvert d'une couche épaisse de terre tourbeuse , où l'on recueille une grande quantité de végétaux enfouis , d'arbres tout entiers de même essence que ceux qui végètent actuellement dans les forêts voisines. Ce bois se rapproche des lignites pour la qualité ; il est lourd et brûle mal.

Cette moraine rentre évidemment dans la catégorie de celles que MM. Le Blanc et Hogard ont les premiers observées dans différentes contrées occupées autrefois par des glaciers (*Bull.*, 1^{re} série ,

géologique, 2^e série , t. III , p. 488) ; elle est si bien cachée dans une forêt de sapins , que je ne l'ai découverte que tout récemment , après la rédaction de ma carte.

1838, t. IX, p. 600; 1843, t. XIV, p. 410; et *Observations sur les moraines et sur les dépôts de transport des Vosges*, par M. Hoggard. Épinal, 1842). Après la fusion, après la disparition des mers de glace, les moraines sont restées en place; elles ont retenu les eaux supérieures et donné naissance à des lacs.

Pourquoi ces deux petites moraines font-elles exception dans les Vosges, pourquoi ne renferment-elles point de débris arrondis? Parce qu'elles se trouvent placées dans des conditions identiques à certaines moraines des hautes régions; elles sont fort reculées, elles sont perdues dans les fonds des vallées les plus abruptes, fonds qui sont précisément dominés par des montagnes dont les pentes sont beaucoup plus escarpées que partout ailleurs dans les Vosges. Ensuite ces matériaux n'ont point effectué de voyage lointain; ils n'ont parcouru qu'une ligne de 1 kilomètre avant d'arriver au point où on les retrouve aujourd'hui.

Ces deux moraines possèdent encore une qualité négative qu'il n'est pas inutile de signaler: elles ne renferment point de galets striés; ce fait, qui pourrait paraître extraordinaire dans nos vallées où ces galets sont répandus avec tant de profusion, trouve cependant son explication sans qu'il soit nécessaire de recourir à une hypothèse extraordinaire; nous aurons l'occasion de traiter ce sujet plus tard.

Les autres moraines qu'on rencontre dans toutes nos vallées, et qui ont été le plus fréquemment explorées à Giromagny, à Wesserling, dans la vallée de Massevaux, et sur le versant occidental de la chaîne, sont presque en entier formées d'un rassemblement considérable de cailloux et de blocs arrondis.

Qu'arriverait-il si nous admettions, par hypothèse, l'existence de mers de glace dont le développement serait tel qu'elles couvrissent tous les sommets d'un système de montagnes? Évidemment, dans cette hypothèse, nous n'aurions point de moraines superficielles; les matériaux minéralogiques qu'un glacier pareil mettrait en mouvement seraient, pour ainsi dire, *sous-marins* pendant leur période de transport, si l'on peut s'exprimer ainsi; ils arriveraient tous au talus terminal plus ou moins frottés et usés, sauf ceux que le glacier, par sa force d'expansion et par son ablation, repousse lui-même de son sein à la surface; mais ceux-ci seraient également écornés.

Si, par contre, cette mer de glace laissait percer au-dessus de son niveau des pics escarpés plus ou moins élevés, formés de roches peu adhérentes, faciles à démolir, les débris résultant de son action seraient en grande partie formés de roches et de cailloux anguleux.

Ainsi donc, si nous rencontrons, sur la plupart des anciennes moraines des Vosges, des matériaux arrondis et usés en beaucoup plus grand nombre que ceux à arêtes vives, contrairement à ce que l'on voit sur les moraines en voie de formation dans les hautes régions, ce fait n'est point contraire aux théories reçues sur la matière, et nous sommes en droit d'attribuer cette différence à la forme des massifs montagneux qui, dans les Vosges, étant naturellement arrondis, ne présentent nulle part de pics à pentes escarpées, et n'ont pu donner lieu, dans les temps erratiques, à de grands éboulements de roches qui demeurent à la surface des glaciers pendant leur période de transport.

M. Viquesnel communique, au nom de M. Fournet, le Mémoire suivant, intitulé :

Résultats sommaires d'une exploration des Vosges, par M. J. Fournet, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

Je viens de visiter les principales stations géologiques du versant oriental des Vosges, dans le but spécial d'étudier les roches éruptives et les phénomènes métamorphiques. Quelques sujets accessoires se sont naturellement rattachés à cette exploration, et j'en rendrai compte à la fin de ce résumé. Les points parcourus sont : les environs de Giromagny, Massevaux, Thann, Guebwiller, le Bonhomme, la Croix-aux-Mines, Sainte-Marie-aux-Mines, le Champ-du-Feu et Framont; mais je rappellerai en même temps que j'ai habité les Vosges pendant longtemps, que je me suis occupé de leur étude depuis l'année 1823, en sorte que je réunirai quelques uns de mes anciens résultats avec ceux de mon dernier voyage.

§ I. *Distribution des roches éruptives et des terrains sédimentaires dans les Vosges.*

Roches éruptives. — En ne considérant que l'étendue des surfaces qu'elles occupent, les roches éruptives peuvent se distinguer en masses principales et en masses subordonnées. Dans les premières il faut classer les granites, les syénites et les porphyres; les autres se composent des serpentines, des diorites et des minettes. Comme je me réserve de revenir prochainement sur le détail des caractères minéralogiques de ces roches, il ne sera ques-

tion, pour le moment, que de ceux qui seront indispensables pour spécifier les masses.

A. Le *granite*, proprement dit, englobe toutes les autres roches plutoniques; on peut donc le regarder comme étant la plus ancienne de toutes: cependant il est souvent difficile de trouver les lignes de séparation, soit à cause de la végétation, soit à cause de la kaolinisation, soit enfin à cause de l'altération ignée qui est résultée de certains contacts. Cette roche varie d'une localité à l'autre. Tantôt son grain est homogène, tantôt il est porphyroïde et quelquefois gneissique. Certaines variétés sont rubéfiées et ressemblent singulièrement au granite de Saint-Bérain. Le quartz de celui du Spessbourg, près d'Andlau, est coloré en rouge de rubis comme au Windstein, et ce phénomène est en rapport avec la présence de petits grains de fer oxydulés disséminés dans la roche. Un autre élément beaucoup plus variable est le mica; le plus souvent il est brun vitreux, quelquefois blanc nacré; mais une autre manière d'être plus essentielle de ce composant est l'apparence verte et terne qu'il affecte très fréquemment. Dans ce cas, le granite ressemble à une protogyne ou même à une syénite à cause de la physionomie amphibolique que ce mica prend alors; cependant il est facile d'éviter cette dernière cause d'erreur. En voyant la reproduction si fréquente de ce mica vert, je me suis demandé s'il avait pris cette manière d'être au moment de la cristallisation de la roche, ou bien après coup et sous l'influence d'un faible métamorphisme. Les expériences de M. Rose ont en effet appris que, dans certains cas, le mica peut devenir vert par suite d'une simple distillation dans une cornue, et cela sans aucun dégagement de gaz. Malheureusement, je n'oserais pas encore affirmer que tous les granites des Vosges, à mica de ce genre, aient été chauffés en place par les syénites, les diorites, ou par les porphyres, et je dois laisser à des études plus minutieuses le soin de décider la question.

Ces granites sont d'ailleurs accompagnés, comme partout ailleurs, de leurs pegmatites, de leurs granulites et de leurs weisstein, qui sont inclus dans leurs masses sous formes de filons subordonnés.

Cet ensemble traverse les schistes du terrain de transition; il en empâte des lames ou des fragments, ou bien encore il s'y ramifie en grand comme en petit, à Sainte-Marie-aux-Mines, à Ribeauvillé, à Andlau, sur le chemin de Fouday à Rothau; enfin, on le retrouve sur toute la longueur des Vosges, depuis les pentes occidentales du Ballon de Giromagny jusqu'à l'extrémité nord du

Champ-du-Feu. Mais l'étendue des surfaces sur lesquelles il est en évidence varie beaucoup d'une latitude à une autre, et la plus grande largeur se trouve à celle de Munster.

B. Les *syénites* forment les masses les plus considérables après les granites; elles se présentent en gros filons, ou bien en puissants amas qui s'élancent quelquefois en forme de cônes; elles dominent la plupart des grandes élévations vosgiennes. Les masses du Ballon de Giromagny, du Cornimont, du Valtin, de la Haute-Fête et du Champ-du-Feu en sont en grande partie composées; on les retrouve encore à l'extrémité de la chaîne, au château de Windstein, près du Tægerthal.

Une ligne tracée sur la carte de manière à se terminer au N. sur le Windstein et au S. sur le Ballon de Giromagny traverse tous ces points en courant du N.-N.-E. au S.-S.-O; elle donne donc en quelque sorte l'idée d'un puissant filon, interrompu çà et là par les granites et par les roches sédimentaires, mais se renflant et se ramifiant dans divers sens, et perçant au jour sous formes de grosses branches et de culot.

Sur une grande partie de cette étendue, la même ligne établit la démarcation entre les eaux du Rhin et celles de la Moselle; elle figure donc la ligne de faite, et il devient assez probable que l'allure générale de la chaîne est due en grande partie à l'émission syénitique. Ce résultat demeure le même, soit qu'on veuille concevoir un soulèvement suivant cet axe, soit qu'on admette la grande faille du Rhin, d'après les ingénieux aperçus de M. Elie de Beaumont. En effet, il suffit, dans ce dernier cas, de regarder la ligne syénitique comme constituant en quelque sorte, du côté des Vosges, le pied-droit de l'ancienne voûte rhénane; la clef ainsi que les voussoirs se sont affaissés, mais le pied-droit ainsi que la culée occidentale subsistent. Il est encore sous-entendu qu'il faudra compléter cette manière d'envisager la formation de la chaîne vosgienne par l'addition des dislocations postérieures qui, d'après mes anciennes observations, ont redressé jusqu'aux terrains tertiaires des environs de Colmar. M. Elie de Beaumont développera sans doute ses vues à cet égard dans la seconde partie de sa description géologique de la France.

La texture des syénites est essentiellement granitique; le mica y abonde, aussi les a-t-on désignées sous le nom de granite syénitique; mais cette texture varie, comme celle des granites, d'une localité à l'autre. Même dans les grandes masses, et notamment en divers points, autour de Giromagny, elle devient très porphyroïde et donne naissance aux magnifiques *granites feuille-*

morte. Le grain est plus varié à la Haute-Fête, près de Sainte-Marie-aux-Mines, mais il est de nouveau plus largement développé au Champ-du-Feu. La décomposition de ces syénites est aussi très remarquable en ce qu'elle donne lieu à un sable kaolinique, empâtant des blocs souvent très volumineux et sphéroïdaux de syénite inaltérée; ces parties semblent alors former un amoncellement de blocs erratiques roulés et de sables diluviens; mais il est facile de se préserver de cette erreur. J'ai d'ailleurs déjà fait connaître les effets analogues que présentent les granites syénitiques des vallées de la Turdine et de Vazergue, dans les environs de Lyon.

Quelques variétés deviennent granulitiques ou pegmatitiques, comme cela a lieu pour les granites par suite des expansions ou des altérations de la cristallisation; mais ces apparitions sont purement locales; elles se manifestent surtout dans les petits filons qui traversent les schistes de transition, ainsi que sur les bords de la formation, au contact des granites et des mêmes schistes. Dans ces cas de cristallisation imparfaite, l'amphibole est l'élément qui tend le plus à s'oblitérer: cette circonstance a pu contribuer à faire croire au passage du granite à la syénite; peut-être aussi, comme je l'ai déjà dit, cette supposition a-t-elle été provoquée par le mica vert de certains granites; mais on revient de cette idée d'un passage de l'une de ces deux roches à l'autre quand on voit que les syénites affectent des positions spéciales, essentiellement caractéristiques, comme celles qui ont été indiquées plus haut.

Diverses coupes peuvent d'ailleurs faire connaître leurs relations avec les granites. Si, par exemple, l'on passe de l'Alsace dans la Lorraine par le Ballon de Giromaguy, on voit que les syénites commencent immédiatement après les schistes et les porphyres de la région basse; elles s'élèvent rapidement avec la montagne et s'étendent jusque vers le Tillot, où l'on entre dans la région granitique de Remiremont. Ici donc, il y a simple juxta-position des deux roches, et si l'on s'en tenait à cette seule coupe, on ne pourrait se permettre aucune conclusion légitime sur leur âge relatif. C'est, pour le dire en passant, une circonstance du même ordre qui m'a jusqu'à présent tenu en suspens sur l'âge du granite syénitique des environs de Lyon.

Mais si l'on va de Ribeauvillé à la Croix-aux-Mines par Tannenkirch, on chemine d'abord sur les granites, puis à la Haute-Fête on trouve les syénites, et sur le versant opposé on voit reparaître les granites qui se prolongent jusqu'auprès de Wisembach. La même succession se reproduit au Champ-du-Feu. En y mon-

tant par Breitenbach, ou bien par Andlau, ou par Barr, on trouve, après le manteau schisteux, des granites qui s'élèvent jusqu'au col du Hohwald, ou jusqu'à la base du Roskopf; vient ensuite la syénite des sommités, et sur le versant opposé, du côté de Belmont et de Rothau, on retrouve les granites dans lesquels sont injectés les filons de fer oxydulé et oligiste, de la Minquette, de la Voëte-basse, etc.

Ainsi donc, dans ces deux derniers cas, la syénite se montre positivement circonscrite entre deux bordures granitiques, et quoique ses masses soient beaucoup moins volumineuses que celle de la roche encaissante, elle ne s'élève pas moins au-dessus d'elle, à la manière d'un dôme au-dessus des autres parties d'un édifice; ou bien encore comme la crête d'un filon au-dessus de ses parois.

Cette dernière circonstance, qui tend déjà à indiquer que la syénite est plus moderne que le granite, reçoit une confirmation plus évidente par les importantes observations de M. Voltz sur l'existence des filons syénitiques inclus dans cette dernière roche; mais elle n'empêche pas de considérer les éruptions respectives comme s'étant suivies de très près. J'admets entre autres volontiers que le granite à quartz rouge du Spessbourg n'est guère plus ancien que la syénite qui apparaît non loin de là, vers la maison du garde Dietz. D'un autre côté, tout prouve que la formation en question est très ancienne, et différente en cela de celle des syénites labradoriques de quelques autres pays; elle est, en effet, traversée par les porphyres rouges quartzifères à Sainte-Marie-aux-Mines ainsi qu'au Champ-du-Feu; l'on en trouve aussi des fragments, à l'état de cailloux roulés, dans les grès rouges inférieurs au grès vosgien, tandis que les porphyres quartzifères ont, au contraire, métamorphisé ces mêmes grès. Concluons donc que les syénites sont comprises, quant à leur âge, entre l'époque granitique et l'époque porphyrique.

C. Après les granites et les syénites, le *porphyre rouge* est, sans contredit, la roche éruptive qui joue le plus grand rôle dans la constitution plutonique des Vosges; mais ses masses ne se manifestent qu'en dehors de la zone des grandes hauteurs, et on peut les réduire à deux principales, l'une située à l'extrémité S. de la chaîne, l'autre reculée vers le N. La première occupe les environs de Fresse, de Mont-au-Jeu; elle reparait avec quelques légères solutions de continuité entre la Mer, Servance, Belfahy et Plancher-les-Mines. La seconde apparaît au N., vers Lutzelhausen et Oberhaslach. On sait d'ailleurs que ces roches surgissent encore

plus loin , à Annweiler, et enfin autour de Kreutznach et d'Oberstein. Dans ces diverses localités, le quartz hyalin , sans être complètement exclus , est , en somme , moins abondant que dans les porphyres du Lyonnais et du Forez. On est encore tenté de trouver un caractère minéralogique plus tranché entre les systèmes porphyriques du Lyonnais-Forez et ceux du Rhin, dans la tendance des premiers à passer à l'état granitoïde indiqué par M. Gruner , tandis que les seconds affectent plutôt l'aspect terreux et brunâtre des argilophyres et des spilites. D'ailleurs ces deux systèmes paraissent encore se distinguer géologiquement par leur âge. En effet, les porphyres du Lyonnais-Forez sont plus anciens que le terrain houiller, puisqu'on en trouve les cailloux roulés empâtés dans les conglomérats de cette formation , tandis que ceux du Rhin ont réagi sur les grès rouges et même sur les grès bigarrés. Cependant on peut tout aussi bien admettre que les éruptions porphyriques occupent une longue page dans l'histoire des révolutions du globe, trahissant leur influence en un point plutôt qu'en un autre, sans qu'il soit nécessaire pour cela d'en disjoindre les diverses parties, en se basant sur quelques caractères minéralogiques. Il existe d'ailleurs des porphyres granitoïdes dans les Vosges , sur l'arête entre le Bonhomme et la Croix-aux-Mines , et nous verrons même par la suite que les physionomies diverses de ces porphyres dépendent bien plus essentiellement de quelques effets métamorphiques particuliers que de leur ordre d'ancienneté. En avançant le fait, je n'ai d'ailleurs pas besoin de rappeler ou de faire observer que je ne confonds pas ces porphyres quartzifères avec les porphyres verts des Vosges ; je ne les confonds pas davantage avec les mélaphyres métamorphiques et les argilophyres de cette même chaîne , non plus qu'avec les mélaphyres basaltiques et les mélaphyres métamorphiques du Tyrol , ces diverses roches n'étant susceptibles d'être confondues les unes avec les autres que dans quelques passages déterminés par des effets de contact, sur lesquels nous reviendrons bientôt.

J'ai indiqué ci-dessus la position des deux masses porphyriques principales des Vosges ; mais , en une foule d'autres localités, on voit les porphyres quartzifères former des filons dans toutes les roches plus anciennes. J'en ai reconnu : 1° dans le granite, à Rothau, près de la mine de la Minquette , auprès du château de Spessbourg , au Rosskopf, derrière Barr , à Roderen , et au-dessus de la Croix-aux-Mines, en allant vers le Bonhomme ; 2° dans la syénite des sommités du Champ-du-Feu , et notamment aux environs de la

maison du garde Herzog (1). Ses gisements dans les formations stratifiées sont encore plus nombreux.

D. Les *diorites*, considérés sous le point de vue de la masse, viennent naturellement après les porphyres quartzifères. Je désigne sous ce nom les roches vosgiennes, composées d'un excès d'amphibole avec du feldspath et du mica, affectant une texture essentiellement cristalline et granitoïde; elles peuvent cependant passer aux dioritines par la diminution de leur grain. Il ne faut pas les confondre avec les porphyres verts, qui sont des produits métamorphiques; mais la distinction est souvent difficile à établir sur les échantillons de cabinet; ce sont les circonstances de gisement qui doivent ici faire loi, et malheureusement elles ne sont pas toujours faciles à déterminer.

La localité où le diorite m'a paru offrir le caractère éruptif de la manière la plus prononcée se trouve aux environs de Ternuay et de Belonchamp. Il forme là un filon très puissant, encaissé entre des schistes argileux, fendillés, durcis sur ses deux flancs. La belle dimension des blocs qu'on peut en tirer, ainsi que la richesse de leur teinte verte, en a fait un objet d'exploitation à l'époque où les scieries de marbre du Raddon fonctionnaient encore; cependant je dois faire observer que cette même roche, déjà désignée par M. Thirria sous le nom d'ophite, tend tellement à se confondre avec certaines syénites à petits grains, qu'elle devra probablement être réunie avec celles-ci.

Au col du Hohwald, sur la montée du Champ-du-Feu, ainsi qu'au Neuentenstein, on voit d'autres diorites dont la cristallisation est très nette, et qui me paraissent devoir former le type de l'espèce; ils sont à peu près aussi riches en quartz qu'en feldspath; ils contiennent du mica vert et de l'amphibole en abondance; mais tantôt c'est le premier, tantôt c'est le second de ces minerais qui domine, sans écraser pour cela le feldspath, dont la teinte blanche ressort vivement au milieu des parties vertes de la masse; le grain de la roche est d'ailleurs moyen et homogène, en sorte que l'on dirait une syénite granitoïde à excès de mica vert ou d'amphibole.

Donnons maintenant un exemple de gisement complexe qui se voit sur la montée de Barr, à la maison du garde Dietz. Après

(1) Pour faciliter les recherches, il est à propos d'indiquer ici que cette station est la même que celle qui est désignée par M. Élie de Beaumont sous le nom de Maison Blind, et par la Société géologique sous celui de Maison Mecquer; elle a changé de nom avec les gardes forestiers qui l'ont successivement habitée.

avoir dépassé les châteaux d'Andlau et de Spessbourg, on arrive à la base du Roskopf, où, près d'un contour du chemin, on trouve, immédiatement après le granite, des schistes argileux devenus plus ou moins cristallins ou micacés. Ceux-ci sont en quelque sorte liés à des diorites analogues aux précédents; je n'ai du moins pas pu apercevoir une démarcation prononcée des uns aux autres, et il est possible que le point de contact m'ait échappé, car j'ai gravi sur le Roskopf au lieu de me maintenir vers sa base. Des filons de porphyre quartzifère compliquent d'ailleurs bientôt le phénomène, et cette nouvelle roche règne même à l'exclusion de toute autre à l'approche de la maison Dietz, où l'on rencontre les escarpements et la syénite des parties supérieures du Champ-du-Feu.

En revenant de là vers le château de Landsberg par l'autre flanc de la vallée de Barr, on retrouve exactement le même ordre, savoir: d'abord le porphyre quartzifère, puis un beau diorite qui se maintient à découvert jusqu'auprès de la maison du forestier Blicast. Malheureusement le grès vosgien masque dès lors cette succession jusqu'auprès du château du Landsberg, où l'on voit reparaître les schistes prismatisés, fissurés, grenus et finement micacés. Sous le château même, et jusqu'à la rencontre du calcaire jurassique des contre-forts extérieurs, c'est un granite analogue à celui d'Andlau et du Spessbourg qui forme la masse essentielle du terrain. Il devient donc évident qu'en s'éloignant de la partie centrale du Champ-du-Feu, on a successivement, de part et d'autre de la vallée de Barr, 1° la syénite, 2° des porphyres quartzifères, 3° des diorites qui semblent liés aux schistes, 4° des granites finissant vers la plaine et sous les terrains secondaires. Cependant cette disposition en bandes prolongées d'un côté à l'autre de la vallée n'apprend rien sur la formation et sur l'âge relatif des diorites. Sont-ils des roches métamorphiques? ou bien, dans le cas contraire, sont-ils plus anciens ou plus modernes que le porphyre rouge? L'analogie de composition, les relations de voisinage avec les syénites du Champ-du-Feu, me porteraient alors à les considérer comme une simple manière d'être de ces dernières, comme un membre particulier de leur ensemble. Mais on voit qu'il faut encore multiplier les recherches pour confirmer ou pour détruire ces aperçus, et elles ne seront pas faciles; car les pâturages et les épaisses forêts de cette partie des Vosges apportent bien souvent d'insurmontables obstacles à l'étude des localités, qui, au premier aperçu, semblent se montrer sous l'aspect le plus favorable.

E. Je n'ai rencontré la *serpentine* qu'en un seul point, vers la

base occidentale du Brezouars, sur l'arête qui sépare le Bonhomme de la vallée de Liepvre. Elle y forme divers filons de 10 à 15 mètres de puissance, lançant de grosses branches au travers d'un terrain de gneiss et de pegmatite. Une de leurs directions est sur H 4 1/2.

Ce gisement n'apprend rien sur l'âge de la roche en question, et il en est de même de tous les autres qui ont été indiqués par M. Élie de Beaumont. Il convient donc de s'en tenir provisoirement aux observations de M. Hogard, desquelles on peut conclure qu'elle s'est fait jour après le dépôt du trias et avant celui du calcaire jurassique. Je crois encore devoir faire remarquer que la serpentine du Bonhomme diffère un peu de celle des Alpes et de la Toscane par une grande dureté et par l'absence de cette cassure esquilleuse ou céroïde qui caractérise si souvent ces dernières. Elle montre, au contraire, une plus grande analogie avec les serpentines dures de la base du Pilate, vers Saint-Julien-Molin-Molette et Pelussin. Elle contient en outre des rognons assez volumineux d'une substance assez semblable au premier aspect à certains péridots granulaires volcaniques, mais plus tendre, clivable dans un sens, à éclat gras tournant au vitreux, d'une couleur jaune verdâtre, et qui pourrait bien constituer une espèce nouvelle qui se classerait à côté de la marmolite.

Faut-il, d'après ces seuls indices, admettre la possibilité d'arriver un jour à déterminer l'âge des serpentines à l'aide de leurs caractères minéralogiques? C'est ce que je n'oserais pas affirmer; il m'a seulement paru convenable de fixer l'attention des géologues sur des faits spéciaux, et sur lesquels je reviendrai plus loin. L'étude des calcaires de Saint-Philippe, près de Sainte-Marie-aux-Mines, fera d'ailleurs connaître une serpentine noble, bien différente des précédentes par son mode de formation.

F. La *minette* traverse indifféremment les granites à Andlau et à Rothau et les calcaires de transition dans les carrières de Schirmeck et de Wackenbach. Mes recherches sur son âge relatif me conduisent à la regarder comme étant plus moderne que les porphyres quartzifères. En effet, ses filons traversent des roches modifiées par ceux-ci sans porter eux-mêmes la moindre trace d'une modification correspondante à celle de leur encaissement. Or, ces filons sont trop peu puissants pour avoir pu échapper à la réaction porphyrique si intense d'ailleurs; donc ils ne sont survenus qu'après l'achèvement de cette opération. Ces minettes paraissent en outre devoir être essentiellement liées aux formations

métallifères de Framont et de Rothau, et j'ajouterai encore brièvement qu'elles n'ont contribué en rien à la dolomisation des calcaires du pays.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES DES VOSGES.

A. Les terrains sédimentaires *anciens* se composent d'un système plus ou moins puissant de schistes argileux non fossilifères, auquel se superpose un système de grès, de grauwackes et de schistes à empreintes moins purs que les précédents et généralement mal feuilletés; ceux-ci sont liés aux anthracites. Des calcaires quelquefois surchargés de débris de Crinoïdes, ainsi que des dolomies, font encore partie de ce système supérieur. L'un et l'autre m'ont paru correspondre aux masses qui s'étendent depuis l'Arbresle jusqu'à Rigny, dans les environs de Lyon; on y trouve de part et d'autre les mêmes dispositions relatives et les mêmes accidents minéralogiques, abstraction faite des effets métamorphiques. L'étage supérieur avec les calcaires pourrait donc être regardé comme l'équivalent du système carbonifère ancien, et cela d'autant mieux que les empreintes végétales sont très ressemblantes à celles de Valsonne et de Tarare; mais l'absence de ces coquilles bivalves caractéristiques, si abondantes dans les environs de Lyon, me laisse encore en suspens.

Ces roches stratifiées anciennes forment en quelque sorte une ceinture autour des Vosges, car on les rencontre autour du Ballon de Giromagny, au Puix, à Auxelles, Plancher-bas, Fresse, Ternuay, la Voivre, Servance, Plancher-les-Mines, Séeven, Massevaux, Oberburbach, d'où elles se prolongent dans la vallée de Saint-Amarin. De là on les suit sur le ballon de Guebwiller par la montée de Bitschwiller vers Golbach; puis, après une légère solution de continuité, déterminée par un percement granitique, on les retrouve au-dessus de Blanchut pour ne plus les perdre de vue jusqu'à Rimbach, Junghaltz et Guebwiller. Vient ensuite une interruption momentanée le long du massif granitique du Hohlandsberg, des vallées de Munster et du Bonhomme; mais on les retrouve sur la crête entre ce dernier point et la vallée de Liepvre, d'où elles s'étendent dans toute la vallée jusqu'à Ribeauvillé. Elles apparaissent ensuite d'une manière pour ainsi dire continue autour du massif du Champ-du-Feu, dans la dépression de Villé, à Breitenbach, Andlau, Barr, et sur l'autre versant à Urmatt, Lutzelhausen, Schirmeck, Framont, Fouday, pour revenir de là à la rampe occidentale du Brézouars, en passant par

la Croix-aux-Mines ; il est même probable qu'à partir de là elles vont se raccorder au moins souterrainement avec les masses du versant méridional du Ballon de Giromagny. Nous verrons encore que, indépendamment de cet arrangement en forme de boutonnières autour des massifs granitiques et syénitiques, divers lambeaux ont été soulevés sur le plateau du Champ-du-Feu, etc., etc., en sorte qu'on ne peut pas méconnaître l'action d'anciens soulèvements qui viendraient confirmer l'aperçu déjà déduit de l'alignement des syénites. Il n'est pas non plus hors de propos d'ajouter qu'une dernière percée de ces schistes se manifeste entre Weiler et Wissembourg, à peu près sur le prolongement vers le N.-E. du même axe syénitique.

B. Sur les deux systèmes précédents repose un autre ensemble que l'on peut comprendre sous la dénomination collective de *grès*, dans l'unique but d'abrégér. Il se compose du terrain houiller, du grès rouge, du grès vosgien et du grès bigarré accompagné de son muschelkalk. Je n'en fais du reste mention qu'à cause de l'objet essentiel de mes études sur les métamorphismes et autres phénomènes pseudomorphiques qui ont affecté quelques uns de ses membres.

§ II. *Phénomènes de métamorphisme occasionnés par les roches éruptives.*

Les métamorphismes du terrain sédimentaire ancien ont été provoqués, tantôt par les granites, tantôt par les syénites, et enfin par les porphyres quartzifères ; tandis que les métamorphismes du grès sont le résultat de l'action des seuls porphyres quartzifères.

A. *Réactions des granites.* — Les métamorphismes occasionnés par les granites ont eu pour résultat principal la formation des schistes micacés, soit à cause de l'intensité particulière de la chaleur qu'ils ont dégagée, soit parce qu'ils ont fourni à la matière métamorphisée les principes nécessaires pour cette conversion. M. Élie de Beaumont a déjà insisté sur les phénomènes de cet ordre, dont le bassin de Sainte-Marie-aux-Mines a été le principal théâtre, et je partage pleinement sa manière de voir. Les détails dans lesquels il est entré suffisent d'ailleurs pour faire comprendre que les micaschistes de cette localité sont en général bien éloignés d'offrir la cristallisation si nette et si développée des micaschistes regardés comme anciens dans les diverses parties du globe ; ils se rapprochent sous ce rapport assez bien des micaschistes formés aux dépens des schistes argileux des vallées de l'Azergue et de

la Brevenne, quoique ici la transformation se soit effectuée sur une échelle infiniment moindre qu'à Sainte-Marie-aux-Mines. Ils se rapprochent encore de certains micaschistes des Alpes dont j'ai fait connaître les caractères dans une de mes dernières notices. Diverses autres localités des Vosges, telles qu'Andlau, Ribeauvillé, fournissent d'ailleurs des exemples d'écailles schisteuses plus ou moins complètement encaissées dans le granite, et dont les passages au micaschiste peuvent en quelque sorte servir de démonstration pour le grand effet général de Sainte-Marie-aux-Mines.

Parmi les résultats subordonnés à ce dernier, il faut aussi ranger la conversion des schistes en diorites schisteux. J'ai fait de longues recherches dans les vallons du Rauenthal, de Surlotte, de Saint-Philippe et de Fertrupk, pour arriver à constater que ces diorites schisteux sont réellement des produits métamorphiques et non des produits éruptifs. J'ai finalement rencontré des exemples assez convaincants pour ne plus laisser de doutes à cet égard. C'est principalement autour des ramifications granitiques représentées par les weisstains, les pegmatites et les granulites, que la cristallisation amphibolique s'est développée soit d'une manière complète, soit en disséminant l'amphibole dans les micaschistes; j'ai d'ailleurs signalé des exemples du même ordre pour les environs de Lyon.

Les schistes plus ou moins durcis, fissurés, plissés, verdis, satinés, chloritisés et maclifères de la montée de Breitenbach au Champ-du-Feu, ainsi que ceux d'Andlau, sont encore en connexion avec les granites et plus ou moins traversés par des filons de quartz et de porphyre quartzifère. A l'occasion des chlorites, je dois encore faire remarquer que la chloritisation des schistes vosgiens est un phénomène très circonscrit et par conséquent bien éloigné de l'amplitude énorme qui caractérise l'effet lyonnais.

Des actions d'un autre genre se sont naturellement développées sur les calcaires de Saint-Philippe au-dessus de Sainte-Marie-aux-Mines. Encaissés dans les schistes micacés, ils ont été comme eux subordonnés à l'influence granitique. En subissant le ramollissement, ils ont réagi sur les silicates empâtés dans leur masse ou en contact avec eux. Il en est résulté des cristallisations de pyroxène sahlite, des amphiboles, des micas ou plutôt des talcs de couleur brune rougeâtre; le silicéo-titanate de chaux a cristallisé en forme de sphène, etc. Mais ce qui doit surtout fixer l'attention, c'est la singulière production de la serpentine noble au milieu de ces calcaires. Évidemment elle n'y est pas entrée par suite d'une injection plutonique; la forme et la disposition des noyaux s'opposent

à cette supposition ; mais tout démontre qu'elle est le produit d'une modification correspondante à celle de la masse englobante, et alors trois hypothèses peuvent expliquer le phénomène :

Ou bien le calcaire était magnésien, et il a fourni de la magnésie à la silice disséminée dans sa masse ;

Mieux encore, le calcaire contenait de l'hydrochlorate de magnésie comme celui d'Argenteuil, près de Paris, dans lequel M. Berthier a trouvé :

Carbonate de chaux.	63	} 100
— de magnésie.	4	
Silicate de magnésie et alumine.	27	
Eau.	6	

et de là des concentrations de serpentine par suite de l'épuration cristalline ;

Enfin les espèces calcaires pouvaient se trouver séparées par des nœuds ou par des lits de magnésite. Si, par exemple, une cause de ramollissement agissait sur les dépôts de Salinelle, de Coulommiers, etc., près de Paris, il est évident que la magnésite intercalée en subirait l'influence, et alors il pourrait se former un minéral du genre serpentineux, d'autant plus facilement que, par suite de la rareté de la cristallisation, les silicates magnésiens affectent pour la plupart des physionomies passablement identiques. Une analyse éclaircirait facilement cette question, et, dans tous les cas, on voit qu'il faut distinguer soigneusement ces serpentines métamorphiques de celles qui sont éruptives. Peut-être même sera-t-on amené par la suite à expliquer, à l'aide de moyens tout aussi simples, la formation de certains marbres serpentinières dont l'origine est jusqu'à présent très problématique. On se rappellera d'ailleurs que M. Boué a déjà annoncé que les relations de la serpentine sont souvent en faveur de l'idée qui la considère comme une roche métamorphique.

Il est presque inutile de rappeler que les marbres de Laveline et du Chipol présentent une grande analogie avec ceux de Saint-Philippe ; mais je dois signaler, en passant, l'existence de la chondrodite dans ceux de cette dernière localité. Ce minéral s'y présente sous la forme de petits grains d'un jaune rougeâtre, assez durs pour recevoir la trace d'un canif à peu près comme un papier reçoit celle d'un crayon. Leur cassure est inégale, d'un éclat vitreux, un peu gras ; en un mot, je n'ai pu établir aucune différence minéralogique entre la chondrodite du Chipol et celle de Warwick dans les États-Unis. Mais l'analyse doit confirmer cet

aperçu, et quoique le minéral en question soit mécaniquement inséparable de sa gangue, à laquelle il est lié d'une manière intime, on pourra néanmoins s'en procurer des quantités suffisantes au degré de pureté convenable, en le dégageant du calcaire à l'aide d'un acide. Notre minéralogie française serait ainsi augmentée d'une espèce qui, jusqu'à présent, n'a été reconnue qu'en Suède, aux États-Unis, en Russie, en Saxe et au Vésuve.

B. *Réactions des syénites.* — Les syénites ont plutôt agi à l'instar des porphyres quartzifères qu'à la manière des granites; leur intensité d'action semble avoir été insuffisante pour déterminer le passage des schistes à l'état micacé sur une grande échelle. Cependant cette modification peut avoir lieu en petit, et l'on en voit un exemple assez remarquable sur les rampes du Champ-du-Feu, aux deux rochers de la Melkerey. En effet, les schistes, empâtés dans la syénite, se présentent au contact immédiat sous la forme d'une masse très finement micacée qui, un peu plus loin, dégénère en un magma noir, confondu avec du grenat et avec de l'épidote amorphes.

Les lambeaux schisteux qui reposent, en forme de calottes, sur la voûte du Champ-du-Feu, et qui sont traversés par les filons de syénite et de porphyre quartzifère, ont été plus généralement ramollis, de manière à former des pâtes noires ou d'un vert sombre, plus ou moins malaxées, renfermant des épidotes, quelques grenats, quelques amphiboles et un peu d'ouralite; mais le feldspath s'y développe aussi, de telle sorte qu'ils affectent une grande tendance à prendre l'aspect des porphyres verts ou plutôt des mélaphyres, dont nous allons parler avec plus de détail dans un moment.

C. *Réactions des porphyres.* — J'ai déjà dit que les porphyres quartzifères se montrent presque partout vers la périphérie des grands massifs vosgiens, et, comme les schistes de transition affectent les mêmes positions, on arrive naturellement à concevoir que cette coïncidence a dû déterminer des effets de contact multipliés. Aussi les métamorphismes abondent sur tout le pourtour méridional de la chaîne depuis Guebwiller jusqu'à Plancherles-Mines, en prenant par Thann, Massevaux, Giromagny, Auxelles, Fresse, Ternuay, la Voivre, Servance et Belfahy. Au N. les mêmes phénomènes se reproduisent depuis les environs d'Urmatt jusqu'au-delà de Fouday, en passant par Schirmeck et Framont.

Si nous recherchons maintenant les productions les plus remarquables de ce remaniement igné, nous reconnaitrons :

1° Une série de schistes prismatisés, cuits, demi-fondus et fondus complètement, en pâtes confuses, verdâtres ou noires, avec des veines d'épidote. Cet épidote est donc ici, comme dans le Lyonnais, comme dans le Tyrol, un indice de métamorphisme. L'ensemble de ces divers faits est, du reste, déjà trop connu pour mériter une plus longue description.

2° Une grande tendance de ces schistes fondus à passer à l'état de pâtes verdâtres euritiques dures, compactes ou granulaires. Celles-ci se chargent aussi de cristaux feldspathiques généralement petits, quelquefois comme fondus avec la pâte; il en résulte des porphyres, désignés par M. Thirria sous le nom de porphyres de transition; ce même géologue y réunit les eurites susmentionnées, certains diorites et des porphyres-brèches. En effet, le développement de la cristallisation ajoute quelquefois l'amphibole au nombre des autres éléments de ces porphyres et détermine par conséquent un caractère minéralogique qui, touchant de près à celui des diorites éruptifs, vient augmenter les difficultés du classement de ces roches. Cependant on remarque que, dans les localités où les phénomènes sont bien caractérisés, ces diorites métamorphiques conservent leur pâte euritique verdâtre. L'amphibole est d'ailleurs sujette à être remplacée par le pyroxène, et quelques lamelles de mica vert terne font aussi partie intégrante de ces composés. Quant aux porphyres-brèches de M. Thirria, on peut quelquefois les regarder comme un résultat de l'infiltration des pâtes fondues entre les éléments du conglomérat du terrain de transition, ou bien comme celui de la fusion plus ou moins complète du ciment de ces mêmes conglomérats; quelquefois aussi ils proviennent du morcellement des schistes et de la brisure de leurs fragments par l'infiltration de la matière éruptive.

3° Enfin, ce remaniement détermine des transformations analogues aux précédentes, mais caractérisées par la formation d'une pâte dure, euritique, de couleur verte sombre, brune-violacée, ou même noire, contenant du pyroxène augite et des cristaux de feldspath verdâtre, quelquefois assez grands, mais plus ordinairement petits. J'ai fait quelques expériences comparatives pour m'assurer si le pyroxène n'était pas de la syénite avec laquelle on pourrait quelquefois le confondre, mais il est beaucoup moins fusible; de même l'espèce de feldspath en question est plus fusible que l'orthose et elle me paraît se rapprocher beaucoup de l'oligoclase, ainsi que M. Daubrée l'a déjà avancé.

Ces roches noires sont confondues, sous le nom de mélaphyres, par quelques auteurs, et M. Thirria en fait son porphyre noir

éruptif, auquel divers passages insensibles le déterminent à ajouter, comme dans le cas précédent, une ophite et un porphyre-brèche. L'ophite en question est caractérisée par une pâte verte sombre, et elle rappelle le *porfido-verde-antico*. Quant à son porphyre-brèche, il est constitué par le porphyre noir dans lequel sont incorporés des fragments quelquefois fort gros de pétrosilex grisâtre, jaunâtre ou rougeâtre, tantôt détachés nettement de la pâte tout en y adhérant fortement, tantôt pour ainsi dire fondus avec elle. J'en ai vu d'ailleurs dont les fragments sont aussi noirs que la pâte elle-même, et la formation de ces porphyres-brèches s'explique de la même manière que celle des roches équivalentes du porphyre vert.

Gisements des porphyres. — 1° Les localités où domine le porphyre de transition de M. Thirria sont comprises dans l'espace occupé par la base du Ballon de Giromagny, Plancher-Haut, Fresse, Ternuay, Champagny et la Voivre. C'est du moins sur cette étendue qu'apparaissent les masses douées de la teinte la plus claire.

2° M. Thirria indique, entre autres localités où l'on peut observer son porphyre noir, Plancher-Bas, les environs de Fresse, Belonchamp, près de la carrière d'ophite, Ternuay, Melisey, Servance et la Planche-des-Belles-Filles. Récapitulons maintenant celles où j'ai fait mes observations, en avertissant les géologues que pour bien s'assurer de la nature métamorphique de ces porphyres noirs, il convient d'explorer un certain nombre de ces gisements.

3° La station la plus remarquable, pour la perfection de ses produits, est sans contredit la hauteur qui domine au N. le col de la Chavestraye, près de Fresse; on peut y observer tous les passages d'un magma bréchiforme au beau porphyre noir antique d'Égypte, dit ophite. D'autres lambeaux à peu près pareils sont disposés en forme de calotte, davantage au N., sur le porphyre quartzifère du col de Belfahy, à Plancher-les-Mines. Une ébauche de la formation est encaissée entre les schistes du mamelon de la Roche situé auprès du Ban-de-Plancher, et elle paraît s'élever de là vers la haute cime du Tannenkopf; on retrouve, du moins ici, au milieu du gâchis porphyrique, des masses de mélapyre qui ressemblent à celles d'en bas. Entre le Puits et le début des syénites du Ballon de Giromagny, ainsi qu'à la Burcinière, les mêmes effets se reproduisent sur les schistes et les grauwackes. A l'entrée de Séeven, en descendant du Ballon de Giromagny, même formation avec porphyres quartzifères et syénites. Sur l'arête,

en allant entre Massevaux et Oberburbach, les schistes voisins des anthracites subissent une transformation pareille. Le vallon qui descend à Roderen contient des blocs erratiques de porphyre noir aussi beaux que ceux de la Chavestraye. Entre Willer et Bitschwiller, dans la vallée de Thann, la conversion est moins nette. Enfin, à la descente du Ballon de Guebwiller, vers Rimbach, ces porphyres noirs reprennent, en grande partie, la netteté des premiers.

4° Pour retrouver maintenant des modifications analogues dans une autre partie des Vosges, il faut se transporter sur le Champ-du-Feu, où les porphyres verts et noirs se montrent avec des caractères exactement pareils à ceux de Rimbach et de Giromagny, passant de l'un à l'autre, ou bien à des pâtes noires, quelquefois épidotiques et même amphiboliques dans les fissures. Quelques blocs m'ont offert le pyroxène ouralite; et tout porte à rapprocher ces mélaphyres de ceux du mont Mulatto et des ravins de Canzocali, près de Predazzo. Ces mélaphyres ont des caractères assez particuliers pour que M. de Buch ait déjà jugé à propos de les distinguer de ceux de Vigo et de Sein, en les regardant comme influencés par le voisinage des syénites; j'ai constaté, de mon côté qu'ils ne sont que des bigarrés métamorphiques.

5° Les mêmes phénomènes se reproduisent à la base occidentale du même massif, depuis Fouday jusqu'à Schirnneck. Dans toute cette étendue, les schistes sont en quelque sorte divisés en grands quartiers par les filons de porphyre rouge et par quelques granites. Aussi sont-ils modifiés de toutes les manières, c'est-à-dire prismatisés, durcis, verdis, jaspisés, épidoteux, convertis en magmas rubanés de parties vertes et noires, enfin, cristallisés en porphyres verts ou noirs, parfaitement développés, et contenant çà et là de rares cristaux d'amphibole. Quelques échantillons ne le cèdent guère en beauté à ceux des environs de Giromagny, et pour les découvrir il suffit de suivre les contacts du schiste et du porphyre rouge. Le trajet de Fouday à Rothau est donc, en quelque sorte, classique pour l'étude de ces phénomènes. A Framont, les mêmes roches ont été confondues avec les porphyres éruptifs proprement dits; mais leurs passages aux schistes sont tels que l'on revient de cette opinion après une étude attentive, et l'on conçoit que cette circonstance entraîne la nécessité d'une modification dans la théorie des filons du pays; en effet, au lieu de constituer des gîtes de contact, ils deviennent de simples filons d'injection, traversant indifféremment les schistes métamorphisés, les calcaires et les dolomies du terrain de transition.

Porphyres métamorphiques. — M. Thirria considérait ses porphyres noirs comme étant des produits essentiellement éruptifs, parce qu'il ne leur a pas reconnu d'indice de stratification, et qu'ils sont d'ailleurs fortement fendillés et comme tressaillés. Il avance la même idée à l'égard de ses porphyres de transition; cependant, comme il a fort bien observé aussi que l'eurite sans feldspath affecte souvent une texture schisteuse, et que les divers membres de ce dernier groupe semblent se lier intimement avec le schiste de transition, s'identifiant avec lui par une sorte de passage au point de contact, et même par quelques apparences d'alternances, il conclut que le porphyre pourrait bien s'être épanché pendant le dépôt du terrain de transition. Celui-ci, n'étant pas encore complètement solidifié, a dû s'enchevêtrer avec les masses plutoniques, et de là les transitions en question.

Cette théorie a été émise en 1833; mais actuellement celle du métamorphisme écarte la nécessité de la contemporanéité. J'ai fait en 1835 quelques expériences qui démontrent que ces transformations en roches porphyriques ont pu s'effectuer parfaitement après la solidification des schistes; j'ai repris la question dans un Mémoire sur quelques points de la géologie des environs de Lyon, présenté à l'Institut en 1837, et, dans ces deux notices, j'ai cité des exemples de schistes verdis et feldspathisés, de grès de transition convertis en porphyres; j'ai appliqué ces données aux roches dites *cornes vertes* et *cornes rouges* par les mineurs de Chessy. M. Gruner a fait en 1841 une étude plus générale de ces mêmes métamorphismes dans son important travail sur la géologie du département de la Loire. Il a désigné alors sous le nom générique de *porphyres verts* ce que M. Thirria appelle des *porphyres de transition*.

Faisons maintenant un pas de plus. La couleur de la pâte est, comme on l'a vu, le caractère dont M. Thirria s'est servi pour établir ses deux groupes porphyriques. Cette différence mérite bien certainement de fixer l'attention, mais il ne s'ensuit pas qu'elle soit de nature à provoquer une distinction aussi absolue; car on peut observer tous les intermédiaires possibles entre le vert le plus clair et le noir le plus intense. Le degré de pureté des schistes argileux paraît être la cause principale de la différence qu'on observe, sous ce rapport, entre leurs produits. On conçoit d'abord très bien que là où le métamorphisme aura été effectué sur des schistes peu ferrugineux, la teinte résultante sera le vert plus ou moins clair; c'est ce qui paraît être arrivé entre autres depuis Auxelles-Haut jusque vers Fresse, espace sur lequel j'ai pu

observer des transitions remarquablement ménagées entre les porphyres verts et les schistes argileux. Diverses relations de rencontre me portent, d'un autre côté, à supposer que le porphyre noir est plus essentiellement un produit du métamorphisme des grès schisteux et des grauwackes ; cependant on remarque parmi les grès un gros banc , qui est assez peu ferrugineux pour donner un produit euritique vert ; c'est celui que l'on voit dans les carrières d'Oberburbach , de Thann , et entre Schirmeck et Lutzelhausen. Il faut aussi tenir compte de la confusion qui s'opère habituellement entre les éléments du porphyre rouge et ceux des schistes ou des conglomérats de transition ; dans ce dernier cas , l'oxyde de fer du porphyre a pu se trouver amené à l'état d'oxyde intermédiaire , et occasionner la coloration du produit artificiel en noir ou en vert plus ou moins sombre ; mais je n'en persiste pas moins à croire que c'est dans la composition ferrugineuse des roches du terrain de transition qu'il faut trouver la principale cause de la coloration plus ou moins intense de ces produits métamorphiques. Or, dès qu'il est établi que leur différence ne roule que sur les quantités relatives de matière colorante , on accordera volontiers qu'il n'y a pas lieu à faire des distinctions géologiques entre eux , et on réunira ces roches vertes ou noires sous la dénomination collective de porphyres métamorphiques, par opposition aux porphyres éruptifs , en se contentant d'en spécifier les nuances, comme on le fait en minéralogie pour les variétés d'une même espèce.

Porphyres métamorphiques du terrain de transition. — Je viens de dire qu'il s'opère assez fréquemment une sorte de confusion entre les éléments de la roche métamorphisante et ceux de la roche sédimentaire. Cette circonstance est trop importante sous le point de vue théorique pour que je n'en dise pas quelques mots. Je possède des échantillons de la Chavestraye, de Belfahy, de Plancher-les-Mines, de Servance , et où l'on voit immédiatement cette incorporation bréchoïde , parce que la fusion n'a pas été complète. Tantôt il y a pénétration surabondante de la pâte du porphyre rouge , et alors on a des roches rouges-brunâtres, qui sont simplement maculées de vert ; tantôt la diffusion est plus intime ; les deux roches ont contribué au produit pour une part à peu près égale , et alors on a déjà des pâtes porphyriques dures et d'une teinte sensiblement uniforme , prenant la nuance noire , brune ou verte , suivant la nature des schistes soumis à l'action dissolvante du porphyre. Cependant on peut très souvent s'assurer que les masses qui au premier coup d'œil paraissent les plus dures et les plus homogènes dans la cassure fraîche , comme , par exemple , les porphyres noirs

de Framont, décèlent néanmoins la structure fragmentaire dans les parties extérieures qui ont été attaquées par les agents atmosphériques. En effet, l'action lente de ceux-ci s'exerce naturellement d'une manière inégale sur une masse complexe; elle la dissèque en quelque sorte de manière à remettre à nu le tissu primitif des diverses parties dont elle est composée; elle fait par conséquent ressortir d'une manière tranchée l'hétérogénéité des unes à côté de l'homogénéité des autres, et l'on a en cela un exemple de plus à ajouter à ceux que j'ai déjà donnés comme preuve de l'importance qu'il faut attacher à l'étude des masses qui passent par les premières phases de la kaolinisation.

En décrivant les modes de diffusion de la matière métamorphisante dans la matière métamorphisée, je dois encore insister sur une petite différence qui se montre entre les phénomènes vosgiens et quelques uns de ceux du Lyonnais. Ici, sous l'influence combinée des fondants et de la chaleur, les schistes se sont souvent exfoliés de manière à recevoir le liquide igné par suite d'une action capillaire. Il en est résulté des schistes verdis, rubanés de veines rouges très fines et parallèles entre elles, autant que le comporte ce genre d'action. Même quand les schistes sont saturés de la pâte porphyrique au point de paraître complètement rouges, on peut encore très souvent reconnaître la nature primitive de la roche à sa fissilité, suivant les plans des feuillets. Le métamorphisme est donc incomplet dans ce cas, mais il n'en est que plus digne d'attention, parce qu'il donne l'idée la plus claire de la marche de l'opération; c'est même cette circonstance qui m'a amené à faire les expériences citées dans le paragraphe précédent. Cependant, dans d'autres cas, l'imbibition s'est effectuée dans des conditions telles, que la fissilité est anéantie, et que la roche prend un caractère décidément euritique ou porphyrique, suivant l'avancement de la cristallisation; en un mot, il semble qu'alors la chaleur ait été assez forte pour liquéfier complètement l'excipient et pour déterminer son incorporation complète avec le fondant. Or, c'est ce dernier cas qui se présente le plus habituellement dans les Vosges; je n'ai point découvert parmi leurs roches ces remarquables infiltrations capillaires du Lyonnais; la diffusion du porphyre y est en quelque sorte nuageuse, et j'en déduis naturellement que la température a dû avoir été bien plus élevée pour produire les phénomènes des Vosges que pour effectuer ceux de nos environs. En avançant cette conjecture, je dois cependant faire observer que le pyromètre sur lequel je me base pourrait bien être fautif, car on conçoit que son action fondante a pu varier d'une localité

à une autre ; mais j'ai supposé d'abord que le degré de fusibilité des porphyres quartzifères était une chose à peu près constante , et , mieux encore , j'ai surtout pris pour point de départ l'amplitude des imbibitions vosgiennes, sur lesquelles nous reviendrons bientôt.

Porphyres métamorphiques du système des grès (1). — L'action des porphyres rouges sur les grès rouges de Lutzelhausen et d'Oberhaslach a été analogue à celle qu'ils ont exercée sur les roches de transition ; de là ces passages du porphyre aux grès et aux conglomérats par l'intermédiaire de porphyres tachetés ou marbrés , ou par des masses rubanées et jaspisées , qui sont si communes à Lutzelhausen , à Oberhaslach et à la cascade du Nydeck. Dans ce dernier point , ainsi qu'à Lutzelhausen , les modifications en question sont accompagnées d'une belle prismatisation des grès porphyrisés. On peut observer de plus à Lutzelhausen une kaolinisation subséquente , qui a fait croire à l'action de vapeurs acides émanées des porphyres. Mais il est facile de s'assurer que leur intervention est tout-à-fait inutile , en sorte que l'on a compliqué par là le phénomène en pure perte. Le passage du grès rouge aux porphyres a du reste depuis longtemps fixé l'attention de M. de Buch ; il a été observé depuis par M. Elie de Beaumont , à la cascade même du Nydeck , au Val-d'Ajol , ainsi que dans les montagnes de l'Esterel , en sorte qu'il serait superflu de nous appesantir davantage sur ces détails.

§ III. *Classification du porphyre des Vosges.*

Depuis mon retour à Lyon , la coordination de mes collections des Vosges m'a mis à même de découvrir certains phénomènes qui m'avaient échappé pendant l'activité des explorations sur le terrain , et ils m'ont amené à certaines généralisations du métamorphisme , qui ne seront peut-être pas dépourvues de tout intérêt , en sorte que je vais les faire connaître.

Si l'on considère l'amplitude des phénomènes de Framont ainsi que des environs de Giromagny , on arrive d'abord à admettre que dans ces points les roches ont , en quelque sorte , nagé sur un bain porphyrique , et je suis de plus en plus persuadé que l'on en viendra à généraliser beaucoup cette circonstance qui a été énoncée , je crois , pour la première fois , par M. Boblaye. Il est même probable que la plupart des métamorphismes intenses , que ceux

(1) Voir la définition de ce système , § I , lettre B.

auxquels une grande puissance a fait prendre un caractère normal, que ceux-là, dis-je, ont été accompagnés quelquefois d'une action chimique souterraine, dont l'intensité a pu s'élever au point de dissoudre des couches sous-jacentes entières, de manière à mettre la masse ignée en contact avec des terrains plus ou moins modernes. On verra peut-être encore que dans beaucoup de cas d'épanchement, ce sont plutôt des actions chimiques qui ont été en jeu, qu'une simple force mécanique; et l'on généralisera ce que M. Naumann a déjà dit en 1833, à l'occasion des leptynites de Mittweida, en Saxe. Enfin, s'il est établi qu'alors les dislocations ainsi que les bombements ne sont survenus qu'après coup, on sera en droit d'examiner si la force de cristallisation n'aurait pas quelquefois aussi joué un rôle capital dans le soulèvement. Ne produit-elle pas le dénivellement de la surface d'un bain métallique qui se solidifie, d'une nappe d'eau qui se congèle dans un vase à parois inextensibles, ou bien la rupture de ces mêmes parois si elles sont incapables d'opposer une résistance suffisante à cette action moléculaire? On remarquera, d'ailleurs, que je me sers à dessein de l'expression générale de dénivellement, parce que dans certains cas les surfaces se dépriment, tandis que dans d'autres elles s'exhaussent.

Mais laissons, pour le moment, ces déductions encore trop hardies pour l'état actuel de la science, et abordons des effets plus saisissables qui sont la conséquence directe de l'amplitude des mêmes phénomènes vosgiens.

Si des paquets de roches sédimentaires ont flotté sur un bain igné, ainsi que nous venons de le dire par avance, ils ont dû avoir été modifiés vers le haut et dissous dans leur partie inférieure; cette partie dissoute, devenant donc un élément de la roche plutonique, a dû lui imprimer une physionomie spéciale suivant sa nature. La même chose arrive dans une foule d'opérations chimiques; le fondant que l'on introduit dans un creuset pour la matière duquel il a de l'affinité dénature le creuset tout en se dénaturant lui-même; la potasse mise en fusion dans un creuset d'argile devient un silicate potassique; un morceau de sucre, immergé dans l'eau sur une partie de sa hauteur, élève une certaine quantité de cette eau dans le reste de sa masse, tandis que réciproquement l'excédant de l'eau se charge de sucre. Les roches plutoniques auraient-elles donc été mises en dehors de la règle générale? seraient-elles des corps exceptionnels? On devrait l'admettre si elles avaient simplement agi sans subir de réaction, et alors tous nos raisonnements, tout le laborieux enfantement du métamorphisme par des effets de contact, de capillarité et de

confusion , n'auraient abouti qu'à la production d'une vaine chimère à placer à côté des vaporeuses rêveries auxquelles se laisserait aller une science encore dans son enfance.

Heureusement qu'il n'en est pas ainsi. Depuis longtemps on a été frappé des changements que présentent , entre autres , les porphyres , et l'on a jugé à propos d'en désigner les divers états sous les noms d'eurite , de porphyre quartzifère , d'argilophyre , de porphyre brun , de spilite , etc. On a même été plus loin en désignant sous le nom de porphyres du grès rouge certains porphyres tels que ceux d'Oberhaslach , parce qu'à des caractères particuliers ils joignent la circonstance d'être , en quelque sorte , inhérents à cette formation aqueuse. Des différences aussi prononcées dans les caractères minéralogiques ont naturellement porté quelques géologues à considérer ces masses comme autant de systèmes distincts , tandis que d'autres réunissent tout , produits éruptifs et produits métamorphiques , en se basant sur les transitions qui existent entre les uns et les autres. Mais je crois qu'il y a excès de part et d'autre. Quelques nuances intermédiaires ne doivent pas déterminer à fermer entièrement l'œil sur les caractères fondamentaux des roches ignées , sédimentaires et métamorphiques ; autrement nous retomberions dans les anciennes idées des passages insensibles qui n'allaient pas à moins qu'à trouver des transitions du granite à la houille , du porphyre au grès , des basaltes aux calcaires coquilliers , etc.

Ceci posé , voici de quelle manière je suis porté à concevoir maintenant les faits relatifs aux porphyres vosgiens.

Quelques uns d'entre eux sont granitoïdes , quartzifères , ou enfin euritiques rouges dans les acceptions les plus exactes de ces expressions. Ces mêmes porphyres sont , en général , sous la forme de masses très puissantes , de filons très imparfaitement soudés ou liés aux roches encaissantes ; ils ne paraissent pas avoir agi sur elles ; ils sont donc purs de tout mélange , ils forment par conséquent nos types éruptifs.

D'autres porphyres très nombreux ont été désignés par M. Élie de Beaumont sous le nom de porphyres bruns , à cause de leur nuance dominante ; ils sont encore durs , à pâte euritique , mais leurs cristaux feldspathiques sont généralement plus mal développés que dans le cas précédent ; le quartz y est aussi plus rare ; leur pâte est semée de taches vertes ou même chargée de quelques pyroxènes , et ils tendent ainsi à passer aux porphyres verts ou noirs métamorphiques. Au lieu d'une séparation nette , ils affectent d'ordinaire une soudure intime avec les schistes métamorphiques

dont ils sont cependant distincts par la couleur et par la texture ; le caractère de l'intercalation postérieure n'est donc pas entièrement effacé ; souvent même sa conservation est assez parfaite.

Enfin, vient une autre série de porphyres auxquels une pâte rude, terreuse, peu dure, fait prendre la physionomie des argilophyres, ou de certains spilites, et ceux-ci sont liés aux grès rouges de la manière qui a été indiquée plus haut.

Ces caractères, distincts pour chaque genre de voisinage, me semblent donc mettre à peu près hors de doute l'influence de la roche métamorphisée sur la roche métamorphisante ; et comme il y a réciprocité d'action, on peut distinguer ces deux cas par des expressions techniques. Je proposerai, en conséquence, pour désigner l'ensemble de ces effets, de conserver l'expression générale de *métamorphisme*, en l'appliquant indifféremment aux modifications de la roche plutonique comme à celle de la roche sédimentaire, puisque toutes deux sont dénaturées. Le cas particulier où la roche sédimentaire sera modifiée prendra le nom d'*exomorphisme* (changement en dehors de la roche plutonique). Enfin, quand on voudra indiquer spécialement les changements survenus dans les roches plutoniques, on se servira de l'expression d'*endomorphisme* (changement en dedans de la roche plutonique).

Pour classer maintenant l'ensemble des porphyres vosgiens d'après cette nomenclature, nous pourrions prendre par exemple la disposition suivante :

ROCHES EXOMORPHIQUES.	ROCHES ENDOMORPHIQUES.	ROCHES ÉRUPTIVES NORMALES.
Schistes, grès modifiés.	Porphyres modifiés par les schistes et les grès.	
Porphyres verts.		Porphyre quartzifère.
Porphyre noir passant aux . .	Porphyres bruns.	Porphyre granitoïde.
	Porphyres argilophyres.	Eurite rouge, etc.

Il est bien entendu d'ailleurs que dans les roches exomorphiques on comprendra les divers cas, de plus en plus complexes, d'endurcissement, de prismatisation, de changement de couleur, de cuisson en *grais* ou en thermantides, de fusion complète, de pénétration par capillarité, de confusion en magma et de cristallisation par le refroidissement subséquent. De même dans l'endomorphisme on réunira aussi bien les simples oblitérations de cristallisation que les phénomènes chimiques les plus complexes.

On sera, il est vrai, quelquefois embarrassé pour distinguer l'endomorphisme de l'exomorphisme. Dans le cas des porphyres, par exemple, on peut manquer de limite tranchée, comme on le

voit sur le tableau ci-dessus ; mais les inexactitudes de ce genre se retrouvent dans une foule de circonstances sans avoir jamais fait rejeter les classifications, et l'on a toujours su conserver leurs immenses avantages en laissant à la sagacité de l'observateur le soin de démêler les points douteux. Cette petite inexactitude me paraît du reste bien minime à côté de la confusion qui régnait auparavant, et j'ose espérer de n'être pas blâmé pour m'être hasardé à tirer l'objet quelconque que j'ai cru entrevoir au fond de l'obscurité où certains phénomènes géologiques sont encore plongés.

EXEMPLES D'ENDOMORPHISME. — 1° Dans la pénurie actuelle, on ne saurait établir trop de parallèles pour faire voir la généralité des effets endomorphiques. Citons donc, pour premier exemple, une certaine roche du Champ-du-Feu qui me paraît mériter quelque attention sous ce rapport. Elle se montre au col du Hohwald, et spécialement aux rochers dits Melkereyfsen, où les schistes exomorphisés en micaschistes, etc., sont soudés avec elle. Cette roche possède des caractères tels qu'on peut lui donner le nom de porphyre dioritique ; elle contient cependant tous les éléments de la syénite, avec cette différence que la texture en est d'autant plus oblitérée par les effets du contact, que l'on se rapproche davantage du schiste ; il me paraît donc indubitable qu'il y a là un endomorphisme de la syénite, et c'est dans ce sens que j'ai dénommé vaguement la roche en question dans le paragraphe K. Or, cet effet qui, au premier aspect, semble devoir demeurer dans la circonscription des phénomènes purement locaux, est susceptible de se reproduire dans des circonstances assez importantes, comme on va le voir.

2° On a nié l'existence du porphyre quartzifère dans les Alpes ; cependant M. Jurine, qui a enrichi la science de particularités importantes sur les roches de ces montagnes, en a déposé un échantillon dans la collection du Musée de Genève. Il provenait de blocs détachés et encore anguleux, trouvés entre la montagne du Vent et celle de la Roche ; ces blocs ne pouvaient évidemment pas venir de loin, mais ils étaient les seuls de ce genre qu'il ait pu trouver dans la vallée de Chamouni et même sur le pourtour du Mont-Blanc. La question de l'origine de ce porphyre n'était donc guère éclaircie ; cependant l'attention fut fixée, et quelques années après M. Necker découvrit un porphyre en tout analogue, d'abord dans des murs en pierres sèches du hameau de la Couteraie, près de Valorsine ; enfin, en 1828, il finit par le voir en place au-dessus du même endroit, ainsi que dans le ravin des

Rupes. Dans ces gîtes, ce porphyre quartzifère affecte spécialement le contact entre les gneiss et les granites ou protogynes. Ceux-ci, à l'approche du gneiss, perdent graduellement leur large texture en passant à l'état porphyroïde qui, lui-même, dégénère en une eurite, tout en faisant partie de l'ensemble granitique ou protogyneux. Ces dernières roches ne sont donc pas du porphyre quartzifère dans l'acception géologique du mot, mais elles offrent un exemple d'endomorphisme bien étudié, et dont il ne s'agit plus que de mettre les caractères en regard de celui de la Melkerey pour constater l'identité des effets produits.

GRANITE OU PROTOGYNE ENDOMORPHISÉE DE LA COUTERAIE.

SYÉNITE ENDOMORPHISÉE DU COL DU HOHWALD ET DE LA MELKEREY.

Caractère général.	{ Porphyre quartzifère grisâtre parfaitement caractérisé.	{ Porphyre dioritique grisâtre parfaitement caractérisé.
Éléments constitutifs.	{ Pâte contenant du feldspath, du quartz et du mica.	{ Pâte contenant du feldspath, du quartz, du mica et de l'amphibole.
Feldspath.	{ En cristaux blancs, gros ou petits, plus ou moins abondants; souvent fondus par les bords avec la pâte, par conséquent plus ou moins arrondis et dans divers états de développement; les uns étant à peine indiqués par des taches blanchâtres, les autres présentant déjà quelques angles assez nets, enfin quelques uns offrant un faible reflet, indice d'une cristallisation presque terminée.	{ En cristaux blancs de dimension moyenne, abondants; intimement liés avec la pâte, par conséquent quelquefois arrondis. A la Melkerey ils sont moins verts qu'auprès du Hohwald. Les états de développement sont donc variables; tantôt inclinable et faiblement translucide; tantôt hyalin à clivage très net, offrant les stries de l'oligoclase. Ces derniers ne se laissent pas rayer; parmi les autres, il en est qui sont susceptibles d'éprouver le trait d'une pointe d'acier.
Quartz.	{ En globules hyalins, dans la proportion ordinaire des porphyres bien caractérisés.	{ En globules hyalins rares; mais la loupe en fait découvrir une multitude d'autres très finement disséminés dans la pâte.
Mica.	{ Brun, vitreux; écailles nettes, souvent hexagonales.	{ Noir et vert, en petites écailles; un très grand nombre se montre à l'état de dissémination très fine dans la pâte.
Amphibole.	{ Nul.	{ Noir-verdâtre; en cristaux assez abondants et nets auprès du Hohwald, et beaucoup moins nets et moins fréquents à la Melkerey.
Pâte vue à la loupe.	{ Cassure inégale, rude, grenue et esquilleuse, assez dure, et cependant susceptible de se laisser rayer par l'acier là où elle est pure. Faiblement translucide. Couleur gris sale, cendrée, quelquefois rubefiée. Dans ce dernier cas on peut avoir des porphyres rouges quartzifères, et ces derniers ont été trouvés en blocs roulés entre Saint-Maurice et le Bois-Noir.	{ Cassure très inégale, très rude et grenue, se laissant égréner comme on doit le concevoir d'après sa constitution grossière. Faiblement translucide. Couleur gris sale, un peu rosée, mais variable en raison de l'abondance relative du mica.
Action chimique.	{ Un petit éclat de la roche introduit dans l'acide sulfurique étendu de son volume d'eau s'est simplement décoloré au bout de quelques semaines; mais une année d'immersion ne l'a pas attaquée davantage.	{ Non éprouvé.

L'amphibole manque dans la roche alpine parce qu'elle dérive d'un granite ; il est présent dans la roche vosgienne parce qu'elle dérive d'une syénite. A cette seule différence près , et sauf quelques légères variations dans le grain et dans la couleur , variations qui sont uniquement dues au développement de la cristallisation et à l'état d'avancement de la rubéfaction , tout est pareil de part et d'autre. On peut donc en conclure l'identité de la formation ; par conséquent aussi l'endomorphisme, si bien étudié à Valorsine, doit s'appliquer aux roches du Champ-du-Feu. Mais on remarquera aussi que , indépendamment de ce qu'il y a d'inattendu dans cette similitude , il y a là apparition d'une nouvelle classe de roches dioritiques à ajouter à celles des diorites éruptifs, des dioritines, des diorites exomorphiques schisteux ou non , et l'on concevra mieux maintenant combien grande a dû être ma perplexité quand j'ai abordé , sur le terrain , l'étude de ces roches amphiboliques , avant d'être muni des points fondamentaux de leur théorie. M. Daubrée demeure sur les lieux ; ce géologue distingué termine en ce moment une belle carte de la partie des Vosges appartenant au Bas-Rhin ; il peut donc compléter ce qui m'a échappé sur son territoire , corriger mes erreurs , et , en améliorant ainsi ce que j'ai dû laisser dans l'imperfection inévitable d'un premier aperçu , il rendra un véritable service à la science.

3° Comme nouveaux exemples d'endomorphisme , je citerai encore ceux que présentent les basaltes qui se chargent de globules calcaires et cristallins quand ils traversent les terrains calcaires , ou bien de globules de fer spathique et même de fer oxydulé dans les parties où ils croisent les amas de fer spathique. La roche devient alors amygdaloïde , et il sera curieux de vérifier si la plupart des autres amygdaloïdes ne rentrent pas dans la même catégorie ; j'indiquerai d'ailleurs incessamment un exemple de la possibilité du fait.

4° Il est encore à supposer que les serpentines dures du col du Bonhomme , ainsi que celles de Saint-Julien-Molin-Molette et de Belunia , sont des roches endomorphiques.

5° Les minettes sont aussi susceptibles de changer très facilement de texture. J'ai déjà cité sous ce rapport , en 1837 , celles des filons de Chessy , qui , dans l'étendue de leur zone de contact , voient leur mica s'effacer , de manière à ce qu'elles passent à l'état de masses noires presque basaltiques. Quelques uns des trapps de l'Angleterre ne seraient-ils pas des roches de ce genre ?

6° Les gîtes métallifères peuvent de même être endomorphiques ou exomorphiques. Les schistes profondément métallisés par la

pyrite de fer, à Chessy et à Sain-Bel ; par la galène , à Mâcot ; les granites chargés de cobalt arsénical , à la mine de Sophia , près de Wittichen , dans le duché de Bade , etc., etc., sont des exemples remarquables de ce dernier cas. Les filons du Bonnot, et certains gîtes de la Scandinavie , décrits par MM. Martini et Daubrée , ont une gangue formée en partie aux dépens de la roche encaissante. M. Savi a aussi depuis longtemps considéré les filons syénitiques de Campiglia et de l'île d'Elbe comme étant des produits de la réaction des gangues éruptives sur les parties sédimentaires voisines. Ce sont donc autant d'exemples de filons endomorphiques , et ces citations seront sans doute suffisantes pour faire comprendre de quelle manière j'envisage maintenant les faits ; elles suffiront aussi , je l'espère du moins , pour faire apprécier tout le parti que la connaissance des filons et des roches est appelé à tirer de ces effets réciproques , abandonnés jusqu'à présent parmi les résultats hors ligne.

§ IV. *Exomorphisme siliceux et phénomènes de pseudomorphose.*

Passons maintenant à des cas particuliers où la silice joue le principal rôle.

A. Sur le bord de la chaîne des Vosges , entre Sulz et Wuenheim , se trouvent les rochers abruptes du Jungholtz. Ici , une injection siliceuse a pénétré parmi les schistes et les protogynes de la partie supérieure du terrain de transition. Il en est résulté , non seulement des filons siliceux accompagnés de baryte sulfatée , mais encore la capillarité a déterminé la silicification des schistes , et jusque là le produit est à peu près du même ordre que celui de Saint-Priest , près de Saint-Étienne , etc. Mais ce qui le rend plus essentiellement remarquable , c'est la tendance du quartz à se concentrer sous la forme sphéroïdale. Dans le cas du développement le plus parfait , elle a donné naissance à une sorte de porphyre globuleux , à noyaux ronds , séparables de la pâte et très finement striés du centre à la circonférence. Il est encore facile de trouver des états moins avancés , et par conséquent plus instructifs , dans les schistes verdis et silicifiés qui ont été éprouvés par l'action de l'air. Alors la silice a blanchi en s'opacifiant , et l'on voit se dessiner çà et là des rudiments de sphéroïdes indiqués par de simples rayons divergents à partir d'un centre et allant se perdre à 1 ou 2 millimètres de distance dans la pâte pétro-siliceuse dont ils sont inséparables.

On remarquera maintenant que je ne fais pas ici une confusion

avec la formation des porphyres amygdalins ou glanduleux ; tout se réduit à un effet d'exomorphisme siliceux d'une intensité remarquable et facile à reconnaître à la conservation plus ou moins nette du tissu des schistes. Cette formation rappelle néanmoins celle des porphyres agatifères, et, par une coïncidence qui semble au premier coup d'œil digne de remarque, il en existe précisément un gîte à quelque distance de là, en aval de Rimbachzell. Il a été indiqué par M. Élie de Beaumont, qui y a reconnu des globules calcaires dont la décomposition rend la roche celluleuse ; j'y ai constaté de plus l'existence de petites géodes d'agate. Mais, malgré ce rapprochement, il n'y a rien de commun entre les deux phénomènes, car le dernier appartient aux porphyres bruns ou mélaphyres analogues à ceux d'Oberstein.

Le développement de l'agate peut s'expliquer ici par l'action dissolvante que la pâte porphyrique a exercée sur les grauweekes du terrain de transition ou sur les grès de la localité. Il en est résulté un magma dont le refroidissement gradué a permis à la silice de se séparer sous la forme de noyaux géodiques. Je ne suppose pas la fusion du quartz contenu dans les grès ou dans les grauweekes, mais simplement sa dissolution. Le carbone est tout aussi infusible que le quartz, mais il se dissout très bien dans le fer, et, quand un refroidissement convenable survient, il se sépare plus ou moins sous la forme de graphite qui vient nager sur la fonte, ou qui demeure dans sa masse en donnant lieu à la formation de la fonte grise, et mieux encore de la fonte truitée ; le phénomène est donc exactement le même que celui que présente une dissolution saline saturée à chaud et qui laisse précipiter une partie de son sel par le refroidissement.

Cette théorie diffère de celle que j'ai proposée dans un précédent Mémoire pour expliquer la formation des géodes d'Oberstein. Je supposais alors que l'acide carbonique et l'eau en dissolution dans le porphyre liquéfié y déterminaient non seulement la formation des bulles comme dans les laves, mais y effectuaient encore la séparation d'une certaine quantité de la silice combinée qui se concentrait dans les cavités. Dans la théorie actuelle, l'intervention des gaz et des vapeurs n'est plus indispensable ; celle-ci est d'ailleurs plus générale en ce qu'elle permet de concevoir la formation des agates au contact de roches plutoniques quelconques ; elle permet encore de saisir la cause de l'espèce d'indifférence de position des agates, car tantôt elles paraissent en relation avec les grès rouges, tantôt avec les grauweekes, en sorte qu'en définitive toutes les roches plutoniques endomorphisées par des roches sédi-

mentaires à excès de silice pourront donner les mêmes produits ou bien leurs équivalents. D'ailleurs rien ne s'oppose à ce que les gaz et les vapeurs aient agi en même temps que la puissance dissolvante des roches ignées, et peut-être expliquera-t-on mieux par ce concours les diverses circonstances qui accompagnent la production des géodes.

B. Une autre silicification est celle des grès bigarrés et du muschelkalk des environs d'Oberbergheim. Jusqu'à présent, elle n'était connue que sur une très petite étendue, mais je me suis convaincu que les bancs modifiés doivent se prolonger tout le long de la rampe qui, à partir du Schlossmühl, va aboutir à l'entrée de Ribeauvillé.

M. Voltz a déjà comparé ce changement de composition à celui qui se manifeste auprès du filon de plomb de Badenweiler; en effet, la silicification alsacienne est accompagnée de la même pénétration de baryte sulfatée et de spath fluor qui caractérise le phénomène badois. Une plus grande généralisation permet encore d'établir un rapprochement avec le lias silicifié des arkoses de Pontaubert, de Semur, et avec le lias pareillement silicifié de Blacé, dans les environs de Villefranche (Rhône). Ces formations présentent entre autres la circonstance très remarquable d'avoir été effectuées plutôt à la manière des pseudomorphoses qu'à celle des métamorphismes. A Oberbergheim, il n'y a souvent rien de changé dans l'apparence du muschelkalk; sa cassure et sa couleur sont conservées avec une perfection comparable à la conservation du tissu ligneux dans les bois agatisés, et l'on n'est désabusé de l'idée que l'on se fait de la composition de la roche qu'en voyant les étincelles jaillir sous les coups du marteau. L'extrême tendance de la silice vers l'état d'amorphisme rend parfaitement compte de la facilité avec laquelle elle prend les formes les plus délicates de la nature tant organique qu'inorganique; elle est donc le corps pétrifiant par excellence, et, comme aucun principe ne s'oppose au développement d'une pseudomorphose sur une grande échelle, on peut ranger le phénomène des arkoses dans la même catégorie.

Mais la cause agissante n'en est pas moins mystérieuse. Quand on voit l'absence de tout indice de fusion, ainsi que des combinaisons qui en sont la conséquence ordinaire, on donne la préférence à l'action aqueuse, tout en repoussant l'idée d'une sédimentation neptunienne opérée de la même manière que dans la formation des couches; la pénétration postérieure de la silice se laisse, en effet, constater sur divers points. D'un autre côté aussi, plus on étudie la silice, et plus aussi on lui trouve des propriétés remar-

quables. On la voit déplacer les éléments constituants et affecter les formes de la baryte sulfatée, du spath fluor, du calcaire, de la dolomie et du tungstate de chaux dans des filons métallifères décidément plutoniques. L'on est donc amené à concevoir une action effectuée pendant l'état de liquéfaction ignée, et plus probablement encore pendant l'état de surfusion de la silice. Cette dernière manière de voir finit même par acquérir une certaine prépondérance quand on s'est assuré qu'à Badenweiler la silicification s'est effectuée au contact d'un filon quartzo-plombifère, et qu'aux environs de Poutaubert les arkoses siliceuses et métallifères sont liées à des filons de quartz émergeant du granite, ainsi que je l'ai vérifié d'après les indications de M. Moreau, professeur de physique à Avallon. Aux Écouchets, l'épanchement du quartz chromifère, que l'on a toujours réuni aux arkoses, a même été accompagné d'un morcellement des roches; en sorte que le mélange paraît avoir pénétré d'une manière violente tantôt dans le granite, tantôt dans les grès, et avoir ressoudé le tout en constituant des brèches analogues à celles des filons plutoniques les mieux caractérisées. Cependant, quand je mets en regard de ces effets les couches de fer oligiste voisines des arkoses, quand je vois celles-ci chargées de fossiles, je dois avouer qu'ils ne sont pas suffisamment convainquants; la prudence veut que l'on attende un nouveau trait de lumière de la part des études dirigées dans ce sens; elles feront probablement connaître des phénomènes complexes là où nous sommes enclins à tout associer.

§ V. *Produits des réactions aqueuses sur les filons métallifères.*

A. *Hématites*. — Les filons métallifères des vallées de Saint-Amarin, de Guebwiller, de Sainte-Marie-aux-Mines et de Framont ont aussi fixé mon attention. Pour abréger, je ne parlerai que des filons de fer. Ils se distinguent en trois classes d'après leur composition minéralogique. Une première classe comprend les filons de fer oligiste de Servance, de Framont et de Rothau; une seconde classe renferme le fer oxydulé qui constitue le gîte de la Voëte-basse à Rothau; enfin on a dans la troisième classe les nombreux gîtes d'hématite brune de Saint-Amarin, celui de la mine jaune à Framont et ceux qui sont disséminés dans les grès vosgiens à Saint-Gongolf et depuis le Jœgerthal jusqu'à Bergzaberen. On est déjà habitué à regarder les deux premières classes comme étant des produits d'éruption; mais il n'en est pas de même de celle des hématites. En effet, l'apparence caverneuse, cariée, stalactique

de leurs minerais, la réunion des hydrates de peroxyde de fer et de manganèse avec les suies manganésiennes, les ocre, les kaolins et les hydrosilicates terreux divers qui leur servent de gangue, jettent une défaveur complète sur l'idée de l'injection plutonique. J'ai pendant trois années exploité un de ces gîtes d'hématite plombifère au Katzenthal, et je dois avouer que la réunion des carbonates et des phosphates de plomb aux divers minerais précédents n'avait pas peu contribué à me constituer partisan de la formation aqueuse des filons. Ma manière de voir s'est modifiée depuis, et cependant il m'a toujours répugné de faire concorder en un même point, comme, par exemple, à Framont, la formation aqueuse des hydrates de fer avec la formation ignée du fer oxydulé et oligiste; car ces gîtes divers paraissent éminemment contemporains. Aussi l'un des buts principaux de mon voyage a été d'examiner de nouveau le problème, et je suis arrivé à une solution si simple, qu'elle sera sans doute adoptée par les mineurs.

En effet, ces filons hydratés sont de véritables produits du remaniement de filons plutoniques; leur matière première était le fer spathique, qui, en se peroxydant, en s'hydratant, en perdant son acide carbonique, est devenu de l'hématite et de l'ocre. J'en ai acquis la preuve au filon n° 45 de Hœrtzenbach, près de Bitschwiller. Hématite dans les étages supérieurs, il passe à l'état spathique dans la profondeur, et l'on peut même trouver entre ces deux extrêmes des parties de fer spathique à demi altérées. Ainsi donc l'action atmosphérique qui s'exerce avec tant d'énergie sur les fers spathiques a déterminé la transformation, et l'acide carbonique dégagé a contribué probablement pour beaucoup à l'altération kaolinique si profonde des roches encaissantes; il a aussi contribué à la dissolution et à l'entraînement d'une partie des oxydes de fer et de manganèse, qui se sont déposés plus loin sous la forme d'hydrates. De là, entre autres, cette puissante salbande terreuse, ocreuse, manganésienne qui constitue le *brand* des parois de la mine jaune de Framont. De là encore ces bizarres colorations ferrugineuses du grès vosgien des filons du Fleckenstein, du Katzenthal, de Nothweiler, de Schlettenbach et de Bergzaberen, colorations qui s'étendent souvent jusqu'à plus de 100 mètres de distance du filon proprement dit.

En poursuivant cette donnée, j'ai trouvé à la Croix-aux-Mines et à Sainte-Marie-aux-Mines les mêmes phénomènes, compliqués de la présence du sulfure de plomb. A Surlotte, le fer spathique des déblais est presque entièrement intact; au filon de la Flussgrube, dans le vallon de Saint-Philippe, on voit des hématites,

dont quelques unes ont conservé la forme du fer spathique, comme à Allevard, et elles sont pénétrées de sulfure de plomb encore inaltéré, parce qu'il est moins oxydable que le fer carbonaté. A la Croix-aux-Mines, les carbonates de plomb, blanc et noir, s'associent en quelques points aux hématites; l'oxydation y a donc été complète; mais, dans la profondeur, le fer spathique et la galène reparaissent dans leur état d'intégrité. On comprendra maintenant comment il se fait que, dans les grès vosgiens du Katzenthal et d'Erlenbach, il ne reste plus que des indices extrêmement rares de ce sulfure; le grès vosgien est une roche excessivement perméable aux eaux; de là cette altération pour ainsi dire complète, qui se traduit par le développement des carbonates et des phosphates de plomb au milieu des hydrates de fer et de manganèse.

B. *Hydrosilicates*.—Un autre produit de ces réactions aqueuses est la calamine électrique ou l'hydrosilicate de zinc cristallisé. Je l'ai rencontré dans les masses cariées du filon de la Flussgrube; il se montrait fréquemment au Katzenthal parmi les carbonates de plomb; enfin les belles houppes cristallines de la mine de Hofesgrund, dans la Forêt-Noire, recouvrent l'hématite brune, et sont associées au plomb phosphaté ainsi qu'à la calamine ordinaire. Mais si, dans ces circonstances, il peut se former un hydrosilicate de zinc aux dépens de quelques blendes, on conçoit encore que d'autres hydrosilicates, alcalins, calcaires, etc., se formeront aux dépens d'autres matériaux, et il ne reste plus qu'à préciser les espèces qui doivent leur origine à ce mode de formation. On les mettra ensuite en regard de celles auxquelles leur interposition dans les amygdaloïdes porphyriques, serpentineuses et basaltiques fait attribuer une origine ignée, et ce travail, aisé à faire maintenant, jettera un nouveau jour sur le développement de l'une des plus belles familles du règne minéral.

C. *Arragonite*.—La formation de l'arragonite des mines a été l'objet d'un dernier sujet d'études; les notions à cet égard étaient jusqu'à présent bien vagues; car on ne pouvait pas faire intervenir dans ce cas l'influence des eaux chaudes, conformément aux expériences de M. Rose. J'ai constaté qu'elles cristallisent à la manière des sels grimpants, par la transsudation du liquide calcarifère au travers des pores de la roche; elles forment alors à sa surface une excroissance isolée, comme une sorte de verrue, qui s'agrandit peu à peu en prenant des branches contournées et arrondies; ces verrues s'appliquent indifféremment à la voûte ou aux parois verticales des galeries. Dans d'autres cas, les arragonites se constituent à la ma-

nière des stalactites , formant des chandelles pendantes , rubanant les parois de croûtes tuberculeuses arrondies , ou bien munies de ces cavités en forme de bénitiers , qui sont les indices les plus caractéristiques du ruissellement des eaux. Une belle arragonite coralloïde est la conséquence d'un suintement d'eau très faible et d'un grand calme atmosphérique ; les autres se concrètent , au contraire , là où les eaux découlent avec une certaine rapidité , et où l'air peut circuler.

On a longtemps discuté pour savoir si la présence de la strontiane n'est pas nécessaire à la constitution d'une arragonite , et l'on n'a pas pris la peine de remarquer que certaines arragonites sont colorées en bleu par le cuivre , en rouge de vin par le cobalt , en jaune serin par l'hydrate de fer , tandis que d'autres sont douées de la blancheur la plus parfaite ; cependant ces diverses circonstances devaient aussi être mises en ligne de compte , parce qu'elles démontrent une certaine indifférence par rapport à telle ou telle base. Mais si je considère que ces mêmes arragonites se développent dans des mines où abondent les sulfures et par conséquent les sulfates ; que souvent le gypse cristallise dans la même galerie à côté de l'arragonite , j'arrive à croire qu'une eau légèrement sulfatée peut contribuer à l'intervention moléculaire du carbonate calcaire , et je trouve de nouveaux appuis en faveur de cette manière de voir dans l'association de l'arragonite avec les gypses de Dax , de Mingronilla , avec la baryte sulfatée et avec la strontiane sulfatée de quelques autres localités.

M. Breithaupt a démontré que l'arragonite et le calcaire peuvent alterner dans les stalactites d'une galerie , et il en cite une qui est composée de treize couches successives de l'une et l'autre espèce. Il attribue ce phénomène à des variations de température ; ne serait-ce pas plutôt parce que l'eau changeait de composition suivant les points de la mine d'où elle arrivait ?

Cependant d'autres corps peuvent naturellement être supposés capables d'exercer une influence analogue , et leur étude mérite d'être suivie avec toute l'attention qu'on doit apporter à tout ce qui concerne les changements de forme de la matière minérale. Les composés ferrugineux , tels que les ocre , les hydrates de fer , les basaltes , les spaths brunissants , se montrent encore si souvent associés à l'arragonite , qu'il est presque impossible de leur refuser une certaine participation à l'effet en question. S'il en était ainsi , la dénomination de *flos-ferri* , imposée par les anciens à ce produit de formation journalière , ne serait pas un simple jeu de mots ; mais je dois laisser à mon ami M. Lecoq , professeur d'histoire na-

turelle à Clermont-Ferrand, le soin de développer plus ample-
ment un sujet qui l'occupe depuis plusieurs années.

M. Bayle, vice-secrétaire, donne lecture des extraits sui-
vants de deux lettres de M. Catullo.

Extrait d'une lettre de M. Catullo.

Padoue, 48 novembre 1846.

Dans le mois d'octobre de l'année passée j'ai envoyé à la So-
ciété une note, dont le but était de revendiquer quelques unes de
mes découvertes, note qui n'a pas été inséré dans le *Bulletin*; je
prends la liberté de la lui adresser de nouveau.

Note de M. Catullo.

Dans la séance du 17 mars 1845 (*Bulletin*, 2^e série, t. II, p. 356),
M. de Zigno annonce, comme un fait entièrement nouveau, l'exis-
tence du lias dans les Alpes vénitiennes. Afin d'éviter toute équivo-
que, et dans le but d'assurer à mes observations la priorité, il faut
que j'annonce ma prochaine publication des espèces fossiles du lias
bellunais, dont j'ai parlé dans un Mémoire inséré dans les *An-
nales des sciences naturelles de Bologne*; et au sujet du terrain
triasique, placé au-dessous du lias des Alpes d'Agordo, de Feltre,
de Cadore, j'en ai raisonné dans la *Bibliothèque italienne*.

Une preuve de l'intérêt avec lequel je m'occupe des roches de
sédiment ancien, inférieures au terrain jurassique, c'est le nombre
remarquable de fossiles que j'ai recueillis jusqu'à ce jour dans
le muschelkalk du Vicentin connu depuis longtemps, et dans
le muschelkalk du Bellunais, que personne n'a encore décrit.

Une grande partie du calcaire que je regardais comme alpin
dans ma zoologie fossile, appartient au contraire au muschelkalk,
ce qui est prouvé dans le Mémoire inédit que depuis longtemps
j'ai envoyé à la Société. Même ce que M. de Zigno a fait lire,
dans la séance du 17 juin 1845 (*Bulletin*, 2^e série, t. II, p. 573),
me paraît avoir besoin de quelque redressement. Les espèces du
genre *Crioceras* ne sont pas nouvelles pour l'Italie; et moi aussi
j'en ai recueilli quelques uns dans la craie blanche supérieure
de Conco (*sette comuni*), et j'en ai donné les figures. Le dessin
que l'on voit à la page 424 de l'Illustration du Musée de Calceolari
ne représente pas un *Crioceras*, suivant l'avis du célèbre Deshayes,
mais plutôt une Ammonite du calcaire rouge de Mazzeuga, dans

le Véronais. De vrais Criocères, au contraire, ont été représentés par deux anciens Italiens, c'est-à-dire par Mercati, archiâtre de Sixte V, et par Moscardo, naturaliste de Vérone. Le premier donna la figure d'un *Crioceras* à la page 39 de l'Appendice à sa *Metallotlica Vaticana* publiée en 1719 par les soins de Lancisio; le second en figura un autre à la page 178 du Musée qui porte son nom, imprimé à Padoue en 1656, in-fol.

Dans la susdite séance il a été question en outre de Pentacrinites, vues par M. de Zigno dans le calcaire tertiaire modifié de la vallée Policella, dans le Véronais; mais on n'ajoute point que j'ai été le premier à en constater l'existence dans la même localité. En 1823, j'annonçai ma découverte dans les journaux de Padoue et de Pavie (*Férussac*, tome IV, p. 35), et six ans après j'ai cru pouvoir assimiler les Crinoïdes du calcaire miocène des Alpes vénitiennes au *Pentacrinites caput Medusæ*, auquel les tiges ressemblent parfaitement (*Giorn. di Treviso*, 1829 *Gennajo*). Dans ces écrits, je parle par incidence des Crinoïdes de différentes espèces que j'ai détachés de la craie de Mazzurega (Véronais) et de la craie de Venda dans les collines Euganéennes.

M. de Wegmann présente à la Société une carte de Sicile faite par un Français, M. Joseph Senès, établi en Sicile, et donne lecture de la notice suivante, communiquée par M. le baron de Cussy, consul général de France en Sicile.

Quelques notes relatives au sel marin et aux mines de soufre en Sicile.

On trouve en Sicile plus de deux cents espèces de marbres, parmi lesquels ceux de Ségeste sont les plus renommés; des *albatres*, dont on fait peu d'usage; une grande quantité d'*agates*, que l'on polit à Palerme et dans d'autres villes encore de la Sicile. Les îles de Lipari fournissent des *pierres ponce*s. Près de Messine, on a reconnu l'existence de mines d'*alun*, qui ne sont point exploitées. Du côté de Castrogiovani, au centre de la Sicile, le *sel gemme* est abondant. L'*ambre jaune* est recueilli à l'embouchure du Symète, près de Catane, et en moins grande quantité sur d'autres points de la Sicile. On trouve des *coraux* sur les côtes du district de Trapani. Diverses variétés de *bitumes* existent dans les districts de Leonforte, Cefalù, Castrogirone. On a reconnu, au village de Nisi, dans les environs de Messine, l'existence d'une mine de *charbon de terre*, qui a été mise en exploitation, mais dont les

produits sont bien inférieurs en qualité aux charbons anglais. Le *gypse* est abondant à Leonforte, et celui de Mazara est converti en plâtre. La *Pierre à chaux* est partout, de même que la craie et l'argile, etc., etc. Mais ces marbres, ces bitumes, ces argiles qui, sur quelques points de la Sicile, offrent des ressources aux populations locales, ne figurent point, d'une manière réelle, parmi les sources de la fortune publique de ce pays. Les marbres de Sicile ornent les palais et les églises de Naples : on en exporte fort peu actuellement ; on exporte peu de poterie de Patti, et fort peu de pierre ponce des îles Eoliennes. Les bitumes ne sont point utilisés ; le sel gemme n'est d'aucun rapport, bien qu'il suffise à la consommation des populations groupées autour de Castrogiovani, etc. Mais la Sicile compte, parmi ses éléments d'échange avec l'étranger, deux espèces de produits naturels, le *sel marin* (1) et le *soufre*, au sujet desquels je me propose d'entrer dans quelques détails que je prendrai la liberté de soumettre à la Société géologique de France.

Sel marin. — La récolte du sel marin se fait sur le littoral de Trapani et de Marsala, et dans le district d'Agosta, sur la côte orientale de la Sicile. Les salines de Trapani et de Marsala sont au nombre de vingt-six ; celles d'Agosta au nombre de six. Les premières produisent annuellement, terme moyen, 120,000 salmes (330,000 hectolitres) ; les autres, 6,500 salmes (17,875 hectolitres). Les années de grande récolte voient le chiffre des produits s'élever d'un tiers en sus. Les pluies d'automne occasionnent sur la récolte une diminution de 48 p. 100. Le tiers des produits est consommé en Sicile. Il a déjà été dit plus haut que les populations des environs de Castrogiovani font usage du sel gemme. Les deux autres tiers sont exportés par les pavillons autrichien, sarde, russe et norvégien. Le prix commercial du sel marin varie de 9 à 12 tarins par salme de dix-huit tuncoli, ou 3 fr. 95 cent. à 5 fr. 49 cent. pour 2 hectol. 75. D'où il résulte que la production moyenne du sel marin représente une valeur annuelle de 108 à 144,000 ducats napolitains, ou 475 à 633,000 francs. L'exploitation du sel marin emploie de cinq à huit cents hommes pendant

(1) Si le sel gemme, qui existe partout où il y a du soufre, était exploité, j'aurais joint à ce travail quelques détails sur cette nature de sel ; mais, denrée sans valeur, elle n'est guère exploitée que par les populations des environs, attendu l'éloignement où les gisements se trouvent de la mer et la cherté des transports. Dans l'état actuel des choses, on n'exporte pas au-delà de 100,000 quintaux métriques de sel gemme, qui sont dirigés sur Constantinople.

le temps de la récolte , et la moitié environ pendant le reste de l'année.

Soufre. — L'extraction et l'exportation des soufres forment une des branches importantes du travail intérieur et du commerce extérieur de la Sicile. Les terrains où l'on rencontre les mines de soufre sont nombreux ; ils sont plus particulièrement situés dans la partie méridionale de l'île , et s'étendent jusque vers le centre (voir la carte de M. Senès indiquée ci-dessus p. 207). Ils embrassent de cette sorte les contrées renfermées entre le mont Etna , le mont Mannaro, le mont Castrogiovani, les montagnes de Cianivana et Catholica , et la côte méridionale de l'île sur laquelle se trouve la province de Girgenti. Toutes les mines qui ne sont qu'à la distance de 20 à 30 milles (28 à 40 kilomètres) des côtes sont en pleine activité. Les mines des environs de Castrogiovani sont trop éloignées de la mer pour pouvoir être exploitées avec avantage , attendu la difficulté et la cherté du transport. Il faut toutefois faire exception de l'abondante et riche mine de Gallizzi , dont le produit a représenté , pendant de longues années , le tiers de la production du soufre de la Sicile , lorsque la production totale ne s'élevait encore qu'à 300,000 cantares , ou 23,802,000 kilogrammes.

Les mines les plus importantes sont , dans la province de Caltanissetta : Grotta Calda , Floristella , Gallizzi , Sommatino , Stimmona , Apaforte ; dans la province de Catane : Muglia , Zimbabilia ; dans la province de Girgenti : Canatone , Lucia , Crocilla , Mandrazzi , Pernice , Montegrande. Ces deux dernières sont le plus anciennement découvertes et exploitées. A l'exception de la mine de *Montegrande* , qui est à 1 mille de la mer (un peu plus de 1 kilomètre), les soufrières les plus rapprochées du littoral sont encore à la distance de 10 à 12 milles (12 à 16 kilomètres).

Le soufre se trouve quelquefois par *masses* et comme un dépôt formé par la nature , mais le plus ordinairement par *veines* , à une profondeur moyenne de 60 pieds (environ 19 mètres). Les indices de son existence sont , à la surface , des couches de plâtre pulvérisé par les vapeurs sulfureuses qui s'échappent du sein de la terre : ces plâtres brûlés ou calcinés sont nommés , en Sicile , *Brisicali*.

Longtemps exploitées sans être soumises à une direction intelligente , plusieurs mines ont été envahies par l'eau *par la faute des mineurs*. A cette époque , le soufre n'était extrait qu'en petites quantités , car il n'était encore employé qu'en médecine et pour la fabrication de la poudre à canon ; mais l'exploitation des mines

a reçu une meilleure direction et a pris un plus grand essor, lorsque la découverte de la soude factice obtenue par la décomposition du sel marin au moyen de l'acide sulfurique, et l'emploi du soufre dans la fabrication de divers produits chimiques (la poudre à blanchir, le savon, etc.), ont fait de ce corps simple un article important d'exportation pour la Sicile : l'acide sulfurique étant devenu, pour les manufactures, un élément essentiel de fabrication, sans lequel la plupart de leurs opérations seraient impraticables, il devait se trouver des hommes qui chercheraient à accroître les produits de l'exploitation des mines de soufre de la Sicile ; c'est en effet ce qui a eu lieu : des Sociétés se sont formées, les propriétaires de mines ont compris tout l'intérêt qu'ils pourraient tirer d'une exploitation mieux entendue, et, pendant les quinze dernières années qui se sont écoulées, l'on a vu la quantité du soufre s'élever à *plus du double du chiffre qu'elle présentait en 1830.*

Les mines de soufre occupent, en Sicile, à l'exploitation, 3,000 hommes et 4,000 enfants; aux transports, 3,000 muletiers (*bordonari*) et 10,000 bêtes de somme. Dans quelques localités, les transports peuvent être effectués par le charroi. Les mines livrent annuellement, terme moyen, 4,800,000 à 5,000,000 de *cantares de minéral* (379,260,000 à 395,100,000 kilogrammes).

Presque toujours couvert d'une couche de concrétions calcaires, le soufre se trouve combiné avec d'autres matières dont on le sépare en le brûlant dans des fours *ouverts* (1), en maçonnerie, appelés *calcare*, qui reçoivent chacun 36 cantares (2,500 kilogrammes). En général, on fait couler le soufre liquéfié dans des *baquets en bois*, où on le laisse refroidir et acquérir de la consistance, procédé qui offre le double inconvénient de faire perdre une forte partie des produits et de laisser échapper une grande quantité de gaz acide sulfureux qui détruit toute espèce de végétation dans les environs des mines. Toutefois, il existe quelques mines où l'on a introduit des procédés plus intelligents et plus avantageux : la fusion *du minéral* obtenue au moyen de machines qui la rendent plus facile, plus productive, et nullement nuisible à la culture des terres environnantes, représente 1/7 dans la *production générale du soufre* (2) : la combustion des 6/7 du *minéral* a encore lieu à l'air libre.

(1) Ce mode de brûler le soufre en plein air, ou à *air ouvert*, remonte aux Sarrasins.

(2) Ce sont des appareils entièrement fermés, que l'on pourrait nom-

Le résultat de la combustion du minerai détermine la classification des mines en *extraordinaires* lorsque le minerai produit 25 p. 100 de soufre, en *riches* lorsqu'il rend 20 p. 100, en *bonnes* lorsqu'il donne 15 p. 100, en *médiocres* lorsqu'il ne livre que 8 p. 100. Au-dessous de ce produit *net* du minerai, la mine qui le fournit est réputée *mauvaise*. En thèse générale, on peut admettre que le minerai extrait annuellement des mines de la Sicile rend, *terme moyen*, 16 p. 100 de soufre, et que la fusion livre chaque année au commerce 800 à 900,000 cantares, ou 63,216,000 à 71,118,000 kilogrammes.

Les qualités du soufre sont connues dans le commerce, en Sicile, sous les dénominations de *sorgira*, 1^{re} *Licata*, 1^{re} qualité; 2^e *avantageuse*, 2^e *bonne*, 2^e *courante*, 2^e *qualité*; 3^e *avantageuse*, *bonne*, *courante*, 3^e *qualité*. Mais, en réduisant ces qualités subdivisées à *trois dénominations générales* de 1^{re}, 2^e et 3^e *qualité*, la *proportion du soufre obtenu par la combustion et la fusion* serait environ celle-ci : 1^{re} *qualité*, 3/16; 2^e *qualité*, 7/16; 3^e *qualité*, 6/16.

Le prix de *revient* (1) est à peu près le même dans toutes les mines, quelle que soit la qualité du minerai, c'est-à-dire de 4 à 5 tarins par cantare de soufre à la mine (fr. 1,80 à 2,25 par

mer Chambres de fusion de Rourre-Pelous, du nom des Français qui en sont les inventeurs. L'appareil *Durand* est une espèce de four ayant une ouverture au centre de la voûte. Mais, avec ces divers appareils, *c'est toujours le minerai de soufre qui sert de combustible*, l'emploi du charbon ou du bois étant trop coûteux. Ainsi, dans la combustion à l'air libre, le minerai sacrifié pour obtenir la liquéfaction de la masse entassée par couches dans les *calcare* est placé au-dessus, *formant une couche de minerai pulvérisé*; avec les appareils *Pelous* et *Durand*, le minerai servant de combustible *est placé dessous l'appareil*.

(1) Le prix de *revient* est, en *moyenne*, de 4 à 5 tarins le *cantare* de soufre (79 kil. 34) à la mine. Dans certaines mines dont le minerai *est friable*, et, par conséquent, d'une facile extraction (*minerai riche* et d'un *fort rendement*), le soufre ne coûte, à la mine, que 2 tarins par *cantare* (fr. » 90 c. par 79 kil. 34), et même moins; tandis qu'il coûte 6, 8 et 9 tarins le *cantare*, à la mine, (fr. 2 70, 3 60, 4 05), lorsque celle-ci est sous eau et que le *minerai est dur et maigre*. Le prix commercial, *sous vergues*, c'est-à-dire tous frais faits au moment de quitter le port, est,

Pour la 1 ^{re} qualité,	de 44 tarins par cantare,	fr. 6 30 pour 79 kil. 34.
2 ^e qualité,	43 — — —	5 55 <i>id.</i>
3 ^e qualité,	41 — et 5 gr. —	5 17 <i>id.</i>

Il n'existe plus, d'ailleurs, de droit de douane à l'exportation.

79 kil. 34); celui du transport varie, selon l'éloignement du port d'embarquement et les difficultés de la route, de 1 à 7 tarins par cantare (fr. 0,45 à 3,15 pour 79 kil. 34).

La consommation intérieure est *quasi nulle* et n'entre point dans les calculs des producteurs : le commerce d'exportation est leur unique débouché et la source de leurs bénéfices. On charge des soufres pour l'étranger dans plusieurs ports et rades de la Sicile, à Terranova, à Siculiana, à Palerme, à Messine, à Catane; mais les ports où le commerce d'exportation du soufre est dans toute son activité, et où le plus grand nombre des bâtiments étrangers viennent former leur chargement, sont *Licata* et *Girgenti*.

Il a été dit plus haut que le chiffre de l'exportation a *plus que doublé depuis quinze ans*. En effet, il était, en 1830, de 350,000 cantares (27,769,000 kilogrammes); en 1832, de 400,890 cantares (31,806,612 kil.); en 1835, de 663,595 cantares (52,649,627 kil.). Or, il s'est élevé, en 1843, du 1^{er} novembre 1842 au mois de décembre 1843, c'est-à-dire pendant quatorze mois, à 1,200,000 cantares (95,208,000 kilogram.); en 1844, à 845,842 cantares (66,789,917 kil.); en 1845, à 552,556 cantares (43,651,950 kil.), (les expéditeurs ayant suspendu leurs envois vers le milieu de l'année, réservant tous leurs efforts *pour l'année 1846*, époque à laquelle a commencé l'*abolition du droit d'exportation*). Ou, terme moyen, *pour les trois dernières années*, 800,000 cantares (63,472,000 kilogrammes).

Sans la circonstance signalée pour l'année 1845, le *terme moyen* se serait peut-être élevé à 900,000 cantares; mais, en admettant le *chiffre moyen réel* que présentent les trois années 1843, 1844 et 1845, voici pour quelle part les puissances ci-après dénommées doivent figurer dans l'exportation.

Qualités.	France.	Grande-Bretagne.	États-Unis de l'Amérique septentrionale.	Autres.
1 ^{re}	kil. 2,580,200	kil. 4,760,400	kil. 5,175,600	kil. 1,586,800
2 ^e	7,934,000	15,868,000	793,400	5,175,600
3 ^e	15,868,000	6,547,200	»	1,586,800
	26,182,200	26,975,600	5,967,000	6,547,200
En 1845 l'exportation s'est partagée comme il suit :				
1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	14,642,750	18,062,100	5,011,600	7,935,500
Total en 1845 : 45,651,950 kilogrammes.				

Dans sa lettre qui accompagnait l'envoi de la communication qui précède M. de Cussy écrivait à M. de Wegmann : « Un bâtiment qui est en route pour Palerme m'apporte de Girgenti quelques échantillons de soufre cristallisé ; s'il en est qui soient dignes de vous être offerts, à vous, mon vieil ami, pour votre collection particulière, et à la Société géologique pour les siennes, je ne manquerai pas de vous les faire parvenir. »

M. Bayle lit la note suivante extraite d'une lettre de M. Matheron à M. le marquis de Roys.

Sur les terrains traversés par le souterrain de la Nerthe près Marseille, par M. Matheron.

Marseille, 22 avril 1846.

Avant peu j'espère adresser à la Société quelques Mémoires sur des questions d'un assez haut intérêt, et notamment un travail sur le souterrain de la Nerthe, que l'on creuse en ce moment aux environs de Marseille pour le passage du chemin de fer. Voici, sur ce souterrain, quelques notions préliminaires que je suis heureux de pouvoir vous donner, en vous laissant la liberté de les communiquer ou non à la Société.

Pour pénétrer dans le bassin de Marseille, le chemin de fer d'Avignon doit traverser la chaîne de montagnes de l'Étoile, qui limite au N. le bassin de Marseille, et dont le prolongement occidental, qui prend le nom de chaîne de l'Estaque, sépare le bassin de Marignane ou des Pennes, dépendant de la vallée de l'Arc, du bassin de Léon, qui appartient au bassin de Marseille, et dans lequel le chemin de fer débouchera tout près du bord de la mer.

Le souterrain aura 4,600 mètres de longueur. Il est situé à 50 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. Vingt-quatre puits, dont le plus profond a 186 mètres, sont creusés, à l'exception de deux, qui ne sont point terminés encore. Le travail de la galerie est fort avancé, et déjà la communication est établie entre divers puits.

Il résulte des observations que j'ai faites, soit à l'extérieur sur la ligne du souterrain, soit dans l'intérieur des puits et des galeries qui sont creusées, que la majeure partie du souterrain est ou sera creusée dans les couches des formations secondaires. C'est d'abord, vers la tête N. du souterrain, le terrain crétacé parfaitement caractérisé, avec des fossiles bien remarquables; puis un lambeau de terrain néocomien, c'est-à-dire des couches de calcaire marneux, analogues à celles de la Bedoulé, près de Cassis et d'Escragnoles, dans le Var. Vient ensuite une énorme faille, remplie par un lambeau de terrain tertiaire, dont les couches inclinent fortement et en convergeant vers le milieu de la faille. Ce terrain tertiaire, qui appartient à notre grande formation à lignite, laquelle, je crois l'avoir démontré ailleurs, est, dans notre pays, l'analogue des terrains tertiaires inférieurs de Paris, est remarquable par une couche de brèches à fragments calcaires un peu roulés, liés entre eux par un ciment marneux fort noir, renfermant des coquilles fossiles appartenant aux genres *Unio*, *Melanopsis*, *Cerithium* et *Ampullaria*, des fragments de bois fossile ayant souvent conservé les caractères de l'écorce, et des ossements de Sauriens et de Chéloniens.

Ces Sauriens sont : un crocodile bien caractérisé; j'ai des fragments de fémur, des vertèbres et de nombreuses dents; un reptile qui doit, je crois, former un genre nouveau, et dont malheureusement toutes nos recherches n'ont pu faire trouver une dent bien conservée. Cet animal, dont je possède des os bien caractérisés, et surtout un humérus, des vertèbres et un fragment de maxillaire, était d'une taille colossale. Je l'étudie, et comme je n'ai point encore terminé de débarrasser de leur gangue tous les fragments qui ont été trouvés et religieusement conservés, je ne puis rien vous dire

de plus à ce sujet. J'ajouterai toutefois qu'un fragment de dent a été trouvé, et que ce fragment rappelle les dents figurées dans Cuvier, pl. CCXLIX, fig. 32. Toutefois, ce n'est point la même dent. Le Chélonien appartient au genre *Trionyx*.

Après la couche à Sauriens, viennent des couches argileuses, des brèches, etc.; puis, en stratification concordante, le calcaire connu sous le nom de calcaire à *Chama ammonia*, qui est brisé sur plusieurs points, et qui présente à toutes ses grandes fractures des traces manifestes de métamorphisme. Après ce calcaire, dont cette partie apparente a été évidemment détachée de couches qui sont restées invisibles, et qui ont été renversées presque totalement dans une grande faille de soulèvement, arrive, sur une longueur de près de 800 mètres, un amas de couches brisées et métamorphiques. C'est le comblement de la grande faille faite avec des matériaux de divers étages jurassiques, et qui se présentent très peu souvent à l'état de pureté et presque constamment à l'état de dolomie ou de brèche dolomitique. C'est dans cette étendue que les phénomènes métamorphiques sont on ne peut plus intéressants à étudier. Je donnerai, dans un travail que je fais à ce sujet, la démonstration mathématique de couches liasiques transformées, ici en calcaire cristallin d'un blanc éclatant, là en dolomie plus ou moins friable, plus ou moins riche en magnésie, plus loin, en calcaire magnésien traversé par des veines d'oxyde de fer. Je ferai voir des couches qui n'ont été qu'en partie modifiées, et enfin je démontrerai que la dolomie qu'on rencontre là est métamorphique. La grande faille où se présentent ces phénomènes est une faille de soulèvement; les couches de ses bords sont presque verticales, et celles qui l'ont comblée, du moins celles qui ont conservé des traces de stratification, sont-elles moins fortement inclinées, et, chose remarquable, ce sont les plus inclinées qui sont celles qui ont le plus changé de nature, tandis que des lambeaux de terrain qui sont restés dans une position se rapprochant de l'horizontalité sont peu modifiés, et ne le sont souvent que vers les extrémités du lambeau, là où se présentent des crevasses ou failles de deuxième ordre.

Après ces couches métamorphiques, le terrain présente, sur 1,400 mètres environ, une série de couches jurassiques correspondant à une épaisseur verticale de 1,200 mètres environ. Ces couches jurassiques sont la partie supérieure du lias, des couches noirâtres correspondant à l'oolite inférieure, d'autres calcaires, toujours plus ou moins noirâtres, plus ou moins séparés par des lits d'argile, qui correspondent à l'argile d'Oxford; enfin, au-

dessus , ce calcaire gris , si commun dans le S.-E. de la France , et que tous les géologues s'accordent à regarder comme le correspondant du coral-rag.

Cette coupe jurassique démontre jusqu'à l'évidence combien est erronée cette opinion , assez généralement admise , que le terrain jurassique est peu développé en Provence. J'ai toujours combattu cette opinion. Notez , je vous prie , qu'il ne saurait y avoir le moindre doute , pas plus au sujet de la nature géognostique du terrain que sur son épaisseur ; car l'épaisseur est déduite de mesures directes par trop exactes pour une semblable question , et celle de la nature du terrain est établie par le *Spirifer Valcotii* et le *Pecten priscus* trouvés vers la base , le *Belemnites hastatus* et autres fossiles bien caractéristiques trouvés vers la partie moyenne.

Tout à coup , après ce terrain jurassique , se présente une faille d'affaissement remplie par de la dolomie : c'est le terrain jurassique qui a subi là une action métamorphique. Ce fait est démontré par les travaux qui ont atteint des couches dont le prolongement correspond à des couches d'une nature minéralogique très différente. Puis , après cette faille , qui a près de 300 mètres de largeur , se présente le calcaire gris , correspondant au coral-rag , lequel est là peu incliné , et cela dans un sens opposé à celui de l'autre côté de la faille. Enfin , vers la tête méridionale du souterrain , il existe une autre grande faille , qui a été comblée par des lambeaux de terrain jurassique et par le calcaire à *Chama ammonia*. Là , tout est bouleversé ; les phénomènes métamorphiques ont étendu leur action sur tous les calcaires qui ont été soumis à leur influence. Le calcaire à *Chama ammonia* a été transformé en sable magnésien contenant jusqu'à 41 p. 100 de carbonate de magnésie. En suivant la faille et en s'éloignant de l'axe du souterrain , ce calcaire perd peu à peu ce caractère ; il devient moins magnésien , plus compacte ; plus loin , la magnésie diminue encore davantage en quantité , et l'on commence à apercevoir des traces de fossiles dont les lits n'ont point été entièrement détruits par les phénomènes métamorphiques. Enfin , plus loin , les fossiles deviennent plus apparents , et ils le deviennent tout à fait là où la roche est dans son état normal.

Cette dernière faille est d'autant plus intéressante à étudier qu'elle donne l'âge géognostique du soulèvement à la suite duquel paraissent avoir eu lieu les phénomènes métamorphiques. En effet , des calcaires appartenant à un terrain lacustre qui est l'analogue du terrain à Gryphées d'Aix ont eux-mêmes été , sur quelques points , changés en dolomie.

Vous voyez , monsieur , d'après cet exposé , trop long sans doute pour faire le sujet d'une simple lettre , mais , dans tous les cas , bien imparfait au point de vue scientifique , que les travaux du souterrain de la Nerthe doivent donner la démonstration de plusieurs questions encore controversées. Il y a là question de soulèvement et de failles , question de l'épaisseur du terrain jurassique , mais surtout question de métamorphisme. En étudiant cette question , je n'ai point dû , cela est évident , me borner à l'examen de la ligne du souterrain. J'ai visité la chaîne de l'Etaque sur tous ses points , et partout j'y ai vu l'image du bouleversement. Ici c'est un lambeau de terrain néocomien bien caractérisé ; là c'est le gault avec ses *Inoceramus concentricus* et *sulcatus*. En suivant la chaîne , j'ai trouvé la position où se présente le point de départ de plusieurs failles qui vont en divergeant.

Mon travail à ce sujet est très avancé. Une grande coupe de 24 mètres de longueur présentera , à l'échelle de 0^m,005 par mètre , toutes les couches traversées. Tous les échantillons sont conservés , et la collection géognostique que je forme pour l'administration éclairée du chemin de fer , sous les auspices de M. Talabot , son savant directeur , présentera , je crois , de l'intérêt ; car les très nombreux échantillons qui la constitueront auront tous été recueillis sur place même dans des points déterminés d'une manière géométrique , et seront d'ailleurs accompagnés d'indications de toute nature sur l'inclinaison , la direction , le jour de l'attaque de la couche , le puits par lequel les déblais de cette couche seront sortis du souterrain , etc.

Puisque j'en suis à vous parler des observations faites sur nos travaux , permettez-moi de vous dire un mot de la découverte d'un reptile monstrueux , dont les débris ont été trouvés dans une fouille d'emprunt pour le chemin de fer , aux environs de Rognac , non loin de l'étang de Berre. Cette fouille a été faite dans un terrain d'argile plus ou moins arénacée et micacée , dépendant de l'étage moyen de la grande formation à lignite. On a trouvé là des ossements dont plusieurs fragments ont dû être brisés par des ouvriers ignorants. Toutefois , la perte n'a pas dû être considérable , car les employés s'aperçurent de suite du fait. Je fus prévenu , et différentes fouilles faites *ad hoc* , à diverses reprises , m'ont procuré un os de 80 centimètres de longueur , qui paraît être un cubitus. Je dis qui paraît être , parce que les extrémités sont mal conservées , à en juger par la forme elliptique de la section faite sur la partie moyenne de cet os ; et en jugeant par la comparaison avec les os du crocodile , on est obligé de rejeter tout rapproche-

ment avec un tibia ; et comme l'os ne présente rien qui permette de l'assimiler à un radius , à un humérus , pas plus qu'à un fémur ou un péroné , je suis amené à le rapprocher d'un cubitus. A côté de cet os était une autre pièce moins longue, mais tronquée, qui paraît être un radius. Un autre fragment paraît être le milieu de l'humérus ou du fémur.

Deux magnifiques vertèbres, de 13 centimètres de longueur, ont été recueillies. Elles sont d'une très belle conservation, et présentent des caractères extrêmement remarquables. Elles ont dû appartenir à la queue de l'animal, et comme elles sont très courtes par rapport à leur diamètre, et que d'ailleurs elles sont déprimées dans le sens vertical, elles démontrent d'abord qu'elles ont appartenu à un animal qui n'était point un crocodile, et en second lieu que la queue de cet animal, quel qu'il ait été, devait être proportionnellement plus courte que celle du crocodile. Ces vertèbres ont d'ailleurs beaucoup d'analogie avec celles du crocodile. Elles n'ont point d'apophyses transverses, mais la place de ces apophyses est indiquée par une saillie rudimentaire bien conservée, qui est, je crois, l'indication certaine d'apophyses transverses dans des vertèbres plus antérieures. L'apophyse épineuse manque aussi et n'a certainement jamais existé, et les apophyses articulaires sont remplacées, antérieurement, par des points ou cônes obtus et divergents, et postérieurement, par une saillie impaire et médiane qui est fracturée dans les deux échantillons recueillis. Cette saillie et les deux points obtus antérieurs sont le prolongement horizontal de la saillie obtuse qui forme au-dessus du corps de la vertèbre la partie annulaire qui forme le canal rachitique.

J'ai d'autres fragments, mais le temps m'a manqué pour les assembler et les réunir en corps. J'ai surtout de belles plaques de *Trionyx*, et des plaques qui ont certainement appartenu à un reptile.

A en juger par les dimensions du cubitus présumé que j'ai sous les yeux, le reptile de Rognac, s'il avait quelque rapport de forme avec les crocodiles, devait avoir, queue non comprise, 10 à 12 mètres de longueur ; ajoutez à cela une queue, toute proportion gardée, moins longue que celle du crocodile, et vous arriverez à un reptile de 18 à 20 mètres de longueur.

Je passe maintenant à une autre question. Vous m'avez fait l'honneur de m'écrire dans le temps pour me demander quelques renseignements sur le terrain à *Nummulites* de Provence, ou plutôt sur le terrain que j'ai signalé à la base de notre grande formation à lignite. Dans votre lettre, vous m'exposez vos vues sur

les lignites de Saint-Paul et sur nos terrains tertiaires. J'ai vu avec la plus vive satisfaction que nos idées se rencontrent parfaitement, et comme vous, monsieur, je ne comprends pas que des esprits aussi éclairés que telles personnes que je pourrais citer nient encore la similitude complète, absolue, du gypse d'Aix avec celui de Paris, et le parallélisme de notre terrain à lignite avec le calcaire grossier et l'argile plastique des bassins océaniques.

Dès 1832, j'écrivais dans les *Annales des sciences du midi de la France*, tome III, page 55, qu'il existait à la base de notre terrain à lignite une assise marine, passant peu à peu aux couches lacustres. A l'époque de la réunion géologique à Aix, je fis remarquer cette couche à mes savants collègues présents à la réunion, et à la Fare j'eus la satisfaction de leur faire recueillir des échantillons qui présentaient à la fois des Huîtres, des Cardium et des Mélanopsides. Depuis cette époque j'ai fait bien des courses pour vérifier des points douteux à cet égard et pour me former une conviction au sujet d'une opinion que je n'osais point présenter à cette réunion, par la raison bien simple que j'étais encore dans le doute, et que je n'avais pas une localité bien caractérisée à montrer. Le sujet en valait la peine. Je sais, hélas ! par expérience, ce qu'il en coûte pour faire admettre une opinion qui n'est pas celle généralement reçue, et je sais de plus, toujours par expérience, que les discussions qui s'élèvent à cet égard ne sont pas toujours ce qu'elles devraient être. Et d'ailleurs, comment oser attaquer des opinions établies, reçues par tous ou presque tous, lorsque précisément, à cause de cette admission, la prudence vous rejette dans le doute ? Ainsi, je le répète, j'ai revu les lieux, j'ai bien étudié la question ; et dussent trouver étrange ce que j'ai à dire ceux qui, sans voir les lieux que je cite, ne veulent pas admettre, j'aurai le courage de le dire. Je répéterai donc ce que j'ai dit ailleurs : que rien au monde ne peut justifier l'opinion énoncée par ceux qui prétendent que notre terrain à lignite est lié à la mollasse marine. Cette erreur est d'autant plus grave qu'il existe entre ce terrain et la mollasse tout le dépôt gypseux d'Aix, lequel, pour le répéter en passant, n'est autre chose que le gypse de Paris. Mais il y a plus en l'état de choses ; je dis non seulement qu'il existe à la base de notre terrain à lignite des couches marines, mais j'ajoute que ce terrain, marin par sa base, passe peu à peu au terrain crétacé. Je ne puis, dans une lettre déjà trop longue, développer tout ce que j'ai à dire à ce sujet. Cela fera le sujet d'un mémoire ; mais voici en résumé ce que mes observations m'ont

fourni. Et d'abord, je dois rectifier une erreur que j'ai commise, et puisse M. d'Orbigny être convaincu, par cette déclaration, que, contrairement à ce qu'il m'a fait l'honneur d'écrire sans me connaître, je ne suis pas du nombre de ces personnes qui s'obstinent à défendre une erreur par cela seul qu'ils l'ont commise. Vous savez peut-être que j'ai indiqué dans le terrain crétacé un étage de grès vert que j'ai appelé craie ligno-marneuse; peu importe le nom; le fait est qu'il existe au-dessous des grès et calcaires chlorités d'Uchaux et de Mornas, dont nous avons les correspondants dans les Bouches-du-Rhône, des couches de marne noirâtre, bitumineuse, renfermant du lignite en plus ou moins grande quantité. Ce terrain se montre sur quelques points dans les Bouches-du-Rhône, et notamment sur les bords de l'étang de Berre. Eh bien! l'erreur que j'ai commise est celle-ci: j'ai rapporté à cet étage la majeure partie des couches du terrain crétacé du Plan d'Aups, des couches qui se montrent à la Cadière, etc. C'est une erreur. Ces couches sont supérieures aux Hippurites et Nummulites qui terminent notre série crétacée proprement dite. Je donnerai des coupes pour démontrer ce fait qui devra faire changer la position géognostique de divers fossiles décrits par M. d'Orbigny et par moi, et notamment la *Turritella Coquandiana*, la *Voluta pyruloides*, la *Turritella funiculosa*, l'*Arca alata*, l'*Arca lævis*, etc., etc. Toutes ces espèces n'appartiennent pas à la craie chloritée; elles sont renfermées dans des couches supérieures aux dernières couches d'Hippurites et de Nummulites crétacées.

Voici ce que deux coupes ont établi à mes yeux d'une manière péremptoire. Au-dessus des Hippurites et de toutes les couches offrant les caractères crétacés proprement dits vient une assise qui renferme encore quelques espèces crétacées, le *Pecten quinque-costatus*, par exemple, mais qui présentait déjà des formes se rapprochant des formes tertiaires. Je n'y ai rien vu qui soit identique avec les espèces du calcaire grossier parisien. A cet étage doivent être rapportées les espèces que j'ai citées ci-dessus, quelques autres qui sont décrites, et un grand nombre d'espèces inédites et que je ferai connaître dans mon travail.

Au-dessus vient un banc d'Huîtres qui est quelquefois remplacé par une lumachelle renfermant des espèces peu faciles à déterminer. L'Huître est l'espèce que j'ai appelée *Ost. galloprovincialis*. Je l'ai citée comme appartenant à la craie supérieure. Au-dessus arrivent des *Melanopsis*, puis la même espèce d'Huître mêlée à des *Cardium*s inédits; puis des *Cyrènes* et des *Melanopsides*; puis encore des *Cardium*s et des Huîtres, puis de nouvelles *Melanopsi-*

des. Or, tout cela est tellement arrangé, tellement concordant, tellement inséparable, qu'il est fort difficile de tracer une ligne de démarcation entre ce qui appartient à la craie et ce qui appartient au terrain à lignite. Eh bien ! monsieur, si vous remarquez que M. Leymerie parle des Hippurites et des Nummulites qui leur sont associées formant un système inférieur à ce qu'il appelle terrain épicrotécé ; si vous remarquez que ce terrain épicrotécé passe, par sa partie supérieure, à un terrain lacustre, ne serez-vous pas frappé, comme moi, de l'analogie de position qui existe entre ce terrain et celui du Plan d'Aups ? C'est là, en effet, ce que je crois admissible ; seulement, il résulte des faits observés que notre terrain à Nummulites ne présenterait pas de fossiles appartenant à ce genre.

Il est donc constant, à mes yeux, qu'il existe au-dessus des Hippurites et Nummulites crétacés proprement dits, et au-dessous du lignite, des couches particulières dont les caractères sont variables suivant les lieux, fait qui démontre, je crois, l'influence des localités et qui doit porter à admettre déjà pour cette époque des petits bassins, estuaires, etc. Il ne serait donc peut-être pas impossible d'admettre que ces couches appartiennent à une époque de transition ; mais c'est là une question sur laquelle, je l'avoue, il s'en faut de beaucoup que j'aie une opinion arrêtée. Je vais revoir diverses localités, étudier avec soin tous les détails géognostiques et paléontologiques des couches que j'aurai occasion d'observer ; après cela, peut-être pourrai-je me hasarder à vous dire ce que j'en pense.

M. le secrétaire lit une lettre de M. Mousson à M. de Charpentier.

Lettre de M. Albert Mousson, professeur de physique et de mathématiques à l'Université de Zurich, à M. le professeur Jean de Charpentier, directeur des mines du canton de Vaud.

Zurich, 29 avril 1846.

Dans la notice que vous avez publiée l'année dernière, dans le but de réfuter la théorie qui attribue à une fonte subite de glaciers les phénomènes erratiques, vous faites observer avec raison que ce moyen serait insuffisant pour rendre compte de la masse d'eau nécessaire au transport des blocs. La disproportion entre la cause qu'on admet et l'effet qu'il s'agit d'expliquer devient évidente lorsqu'on réfléchit au volume d'eau qu'il faudrait pour former et

pour entretenir, ne fût-ce que pour quelques minutes, un courant de quelques mille pieds de profondeur et de quelques cents pieds de vitesse par seconde, et cela sur toute la largeur d'une vaste vallée. Cependant vous n'avez pas voulu vous arrêter à une appréciation vague qui, à la vérité, pourrait suffire aux personnes auxquelles les considérations de ce genre sont familières, mais qui ne contenterait peut-être pas la majorité des géologues. Vous avez donc désiré soumettre le phénomène à une évaluation numérique. Ainsi que vous l'avez judicieusement indiqué, la question physique revient à un des deux problèmes suivants :

Déterminer le temps nécessaire à la fusion d'une masse donnée de glace ; ou bien trouver la masse de glace qui, dans un temps donné, pourrait être convertie en eau.

En vous exposant mes idées sur ce sujet, en apparence très simple, mais en réalité très compliqué, je dois protester d'avance contre la prétention que l'on pourrait me supposer de vouloir vous donner de ce problème une solution rigoureuse et à l'abri de toute objection. Bien au contraire, je ne vous donne mon calcul que comme une approximation éloignée, mais qui dans l'état actuel de la science me paraît la seule possible. Quelques mots suffiront, je pense, pour faire ressortir non seulement la vérité de cette assertion, mais aussi pour justifier la voie indirecte que j'ai choisie pour tourner en quelque sorte les difficultés qui se présentent dès qu'on essaie de résoudre la question *directement*.

Tout physicien auquel vous soumettrez ces questions sera embarrassé d'y répondre, et sera forcé d'avouer, après mûr examen, que la science manque encore de données assez positives pour servir de base à un calcul tant soit peu rigoureux. En effet, il s'agit ici de températures bien supérieures à celles auxquelles se sont arrêtées les recherches des physiciens, de températures qu'il est même impossible de déterminer avec quelque exactitude au moyen des instruments dont nous disposons. En outre, dans la plupart des expériences sur les effets de la chaleur on n'a eu en vue que l'état initial et final des corps soumis à l'expérience, sans s'occuper de la manière dont les changements s'y sont opérés ; en conséquence, on n'a mesuré que des poids, que des températures et des quantités de chaleur, mais on a négligé un quatrième élément, le *temps* ; élément sur lequel portent justement les questions dont il s'agit. Il n'y a réellement que le problème du refroidissement des corps qui ait été soumis à un examen plus approfondi ; mais les lois auxquelles il a conduit ne sauraient trouver leur application dans le cas spécial qui nous occupe.

Ainsi ; il faut abandonner le domaine de la physique exacte et tâcher de parvenir par une voie indirecte à une réponse approximative. Or, il me semble qu'on y réussira , en mettant à profit les règles pratiques dont on fait usage dans la physique *industrielle*. Dans tous les calculs concernant le travail des moteurs et l'économie du combustible , la considération du temps se place en première ligne. En outre , ces règles ont l'avantage de donner des valeurs approximatives sans exiger une connaissance exacte de tous les éléments qui concourent au résultat. Seulement , pour appliquer les valeurs trouvées dans un cas à un autre cas , il faut s'assurer auparavant de la similitude des circonstances et de la convenance du rapprochement.

La pratique des chaudières à vapeur a démontré qu'avec un chauffage ordinaire on pouvait compter sur une évaporation de 20 à 30 kil. d'eau par heure et par mètre carré de surface chauffée ; dans le feu le plus ardent , cette quantité s'élève à 100 kil. , et ne surpasse ce chiffre que lorsqu'il y a contact immédiat avec le combustible incandescent : ainsi un mètre carré de surface à 100° centigrades , ou même un peu plus , absorberait en une heure , dans le feu le mieux nourri , la quantité de chaleur nécessaire à l'évaporation de 100 kil. , ce qui , en comptant 550 unités de chaleur latente par kil. d'eau , donne $\frac{100 \times 550}{60} = 916.4$, soit

1000 unités , en *une* minute. La température du foyer peut être estimée à 1000°

Admettons maintenant que l'absorption par une surface de glace s'opère avec la même facilité que par une surface de fonte. Ce rapprochement se trouve appuyé par le fait bien connu que , quand il s'agit de foyers dont la température est très élevée , la nature et l'épaisseur des surfaces absorbantes n'exercent presque plus aucune influence , pourvu toutefois qu'en vertu d'un remplacement continu du calorique absorbé la température se maintienne invariable. Cette condition est remplie dans les deux cas que nous comparons : dans l'un , c'est l'évaporation ; dans l'autre , c'est la fusion qui rend latente la chaleur à mesure qu'elle est absorbée. On peut aussi faire remarquer , au sujet des deux circonstances qui concourent à la formation du flux calorifique , que l'une , le contact avec les gaz brûlants , agit généralement de la même manière sur toutes les surfaces , tandis que l'effet de l'autre , c'est-à-dire du rayonnement , diffère assez peu , soit qu'il s'agisse d'une surface mouillée , soit qu'il s'agisse d'un métal oxydé ou

noirci. Donc, le rapprochement que nous proposons n'est point aussi arbitraire qu'il le paraît au premier abord; il faut seulement considérer que, la glace étant à 0° , et la chaudière à 100° , l'absorption sera plus forte dans le premier cas, c'est-à-dire qu'elle sera dans le rapport de la différence des températures; par conséquent, la quantité du calorique absorbé augmentera de $\frac{1}{9}$. Il s'ensuit que 1 mètre carré de glace, exposé au feu le plus ardent, pourra absorber jusqu'à 1100 unités de chaleur par minute.

Cette quantité de chaleur étant employée en entier à la fusion, et chaque kilogramme de glace rendant latentes 79 unités, il en résultera par minute une quantité d'eau égale à $\frac{1110}{79} = 14,05$ kil.,

représentant un volume de $\frac{14,05}{1000} = 0,0141$ mètres cubes. Le volume de glace correspondant sera plus grand dans le rapport inverse des pesanteurs spécifiques, soit : $\frac{10}{9} \times 0,0141$ ou 0,0156 mètres cubes. Distribuée uniformément sur la surface d'un mètre carré, cette quantité répond à une couche de 15,6 millimètres d'épaisseur.

Du cas spécial il est facile de passer au cas général. En effet, pour une température de t degrés du foyer, l'absorption changera approximativement dans le même rapport, et restera de plus proportionnelle à l'étendue a^2 de la surface exposée au feu et au temps T que durera l'action du feu. La quantité d'eau q produite en T minutes sera par conséquent, en mètres cubes :

$$q = 0,0141 a^2 \cdot \frac{t}{1000} \cdot T \quad (1),$$

et l'épaisseur d correspondante de la couche de glace, en millimètres :

$$d = 15,6 \cdot \frac{t}{1000} \cdot T \quad (2),$$

formules qui contiennent la solution de l'un des deux problèmes.

Pour résoudre le second problème, admettons qu'il s'agisse de calculer le temps nécessaire à la fusion complète d'un cube de glace, dont le côté soit de A mètres, et qui serait exposé à un foyer ayant la température t . Si les six faces sont toutes également chauffées, ce qui, à la vérité, ne saurait avoir lieu, la fusion en

une fraction dT de minutes sera de $6 \times 0.0141 \times a^2 \times \frac{t}{1000} dT$

mètres cubes d'eau, ou de $6 \times 0.0156 \times a^2 \times \frac{t}{1000} \times dT$ mètres cubes de glace. Cette dernière quantité représente en même temps la diminution — $3 a^2 da$ du volume total de glace. Égalant ces deux expressions, on aura — $da = 2.0,156. \frac{t}{1000}. dT$.

Intégrant depuis $a = A$ jusqu'à $a = 0$, l'on trouvera pour le temps T , nécessaire à la fusion du cube total, en minutes :

$$T = 32.05. \frac{1000}{t}. A \text{ --- (3).}$$

Le temps, comme on voit, est en proportion directe des dimensions du cube, et en proportion inverse de la température du foyer. Ce résultat était à prévoir, attendu que la masse à fondre se trouve être proportionnelle au cube des dimensions, et la chaleur absorbée proportionnelle à la surface ou au carré des dimensions.

En définitive, nous voyons que dans le foyer le plus ardent des chaudières à vapeur, c'est-à-dire pour une température de $1,000^\circ$ à peu près, 1 mètre cube de glace exige toujours de 30 à 35 minutes pour être complètement réduit en eau.

Une masse de glace qui ferait partie d'une nappe étendue, ayant une surface de A mètres de côté, et une épaisseur de D mètres, n'admettra de la chaleur que par ses deux faces supérieure et inférieure. Le temps nécessaire à la fusion totale de cette partie de la nappe sera, en minutes :

$$T = 64.1. \frac{1000}{t}. D \text{ --- (4),}$$

ou bien le double de celui qu'exigerait un cube de même grandeur chauffé sur toutes ses faces; le temps doublerait encore, si l'échauffement n'avait lieu que par l'une des faces.

Ces formules contiennent, je pense, la réponse aux questions que vous m'avez adressées, et vous fourniront le moyen de transcrire en nombres la théorie de M. de Collegno.

N'ayant pas à ma disposition les données nécessaires pour faire l'application de mes formules, je dois vous en laisser le soin, et me borner aux considérations que je viens de développer sur la partie purement physique de la question. En terminant, je me

permettrai encore une remarque : l'élément sur lequel porte principalement l'incertitude est la température du foyer. Avec cette température, varie en proportion directe la quantité de glace fondue, et pour apprécier un peu rigoureusement cette quantité, il faut encore connaître la quantité de calorique employée à la fusion.

Cependant il est bien difficile de supposer une chaleur excessivement élevée, puisqu'il ne s'agit pas d'un phénomène circonscrit et purement local, mais bien d'un état thermométrique que l'on suppose avoir envahi de vastes étendues de pays. La même difficulté se présenterait avec plus de force encore si l'on voulait, pour obtenir une fusion plus considérable, recourir à l'hypothèse que le sol même sur lequel reposait le glacier avait acquis une température incandescente. Ce que nous savons sur la conductibilité de l'écorce terrestre, et les données que nous fournissent les phénomènes volcaniques actuels, nous autorise à conclure, au moins pour ce qui concerne l'époque géologique en question, qu'une telle chaleur n'aurait pu se propager et s'établir que très lentement, ce qui nécessairement n'aurait produit qu'une fonte lente et progressive, et nullement une fonte instantanée, une débâcle subite et torrentielle, condition indispensable cependant à l'hypothèse. Comment, en outre, admettre des températures aussi élevées sans qu'elles aient laissé, dans le sol même, mille traces de leur action, du moins dans les endroits qui n'étaient pas atteints par le niveau des eaux ?

Plus on veut approfondir le mécanisme du phénomène suivant la théorie de M. de Collegno, plus on s'embarrasse dans des difficultés et des contradictions dont il paraît impossible de sortir.

M. le secrétaire lit le Mémoire suivant de M. de Charpentier.

Examen de la question : Si les effets produits par les inondations prouvent en faveur de l'hypothèse qui attribue les phénomènes erratiques à des courants (Mémoire faisant suite à la lettre de M. Mousson) ; par M. de Charpentier.

Dans un Mémoire fort intéressant sur les *Terrains diluviens des Pyrénées*, publié en 1843 dans le *Bull. de la Soc. géol. de Fr.*, 1^{re} série, t. XIV, p. 402, M. de Collegno, pour expliquer les phénomènes erratiques de ces montagnes, adopte l'opinion que M. Élie de Beaumont a émise sur la cause de ces mêmes phénomènes dans les Alpes. Ce savant, comme on le sait, croit l'avoir

trouvée dans des courants qu'il suppose avoir été produits par la fonte soudaine des glaces, qui, selon lui, auraient existé dans les Alpes occidentales au moment du soulèvement de la chaîne principale de ces montagnes, et qui se seraient fondues instantanément par l'action des gaz chauds auxquels il attribue la formation des dolomies et des gypses.

Partant de cette hypothèse, M. de Collegno pense que les phénomènes erratiques des Pyrénées sont également dus à des courants occasionnés par la fonte des glaciers opérée soudainement par les gaz chauds qui se sont dégagés probablement à l'instant de l'apparition des ophites, roches qui, avec la lherzolite ou pyroxène en masse, paraissent être les roches éruptives les plus modernes des Pyrénées.

L'observation impartiale des faits ne m'ayant pas permis de me ranger à l'opinion de M. de Collegno, j'ai exposé les considérations qui me la font rejeter dans un mémoire lu, en 1844, à la section géologique du congrès scientifique italien réuni à Milan (1), et qui plus tard a été inséré dans la *Bibliothèque universelle de Genève* (2).

Parmi ces considérations il n'y en a qu'une qui ait donné lieu à quelque objection, c'est celle qui se fonde sur le degré excessif de température qu'il faut supposer aux gaz, si l'on veut qu'ils aient opéré soudainement la fonte des glaces, température, en effet, tellement élevée, qu'elle aurait instantanément converti l'eau en vapeurs sans lui laisser le temps de s'amasser et de former des courants. A cette considération M. Élie de Beaumont a cru pouvoir opposer la cause et les effets des inondations occasionnées en 1742, dans les Andes, par la fonte des neiges du Cotopaxi, à la suite de deux éruptions de ce volcan (3).

Avant d'entrer dans l'examen de la question de savoir si les effets de ces inondations et la cause qui les a produites peuvent fournir quelque argument en faveur de l'hypothèse des courants, il convient d'abord de déterminer d'une manière approximative le degré de chaleur nécessaire pour fondre dans un temps donné une masse de glace dont le volume et la force sont connus.

La solution de ce problème difficile étant au-dessus de mes forces et ne se trouvant pas non plus dans les ouvrages que j'ai pu con-

(1) *Atti della sesta riunione degli scienziati italiani*, p. 539

(2) *Nr.* 109. Janvier 1845.

(3) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. II, p. 406.

sulter, j'ai eu recours à l'obligeance et à l'habileté de mon savant ami M. Mousson, professeur de physique et de mathématiques à l'université de Zurich. Ce physicien distingué ne tarda pas à m'envoyer une solution aussi approximative qu'on peut l'espérer dans un problème aussi complexe et vu l'état actuel de la science. Il a consigné dans la lettre qui précède la méthode qu'il a employée, le raisonnement qu'il a suivi et le résultat auquel il est parvenu.

Appliquons maintenant les formules de M. Mousson à l'évaluation approximative du degré de chaleur qu'il faut supposer aux gaz qui, d'après M. de Collegno, auraient fondu presque instantanément le glacier du port d'Oo, et auraient produit par là, s'il faut en croire ce célèbre géologue, les phénomènes erratiques de la vallée de Larboust. Le volume de ce glacier est d'environ 12,000,000 de mètres cubes, formant une nappe de 800,000 mètres carrés de surface et de 15 mètres d'épaisseur moyenne (1). Comme cette fusion doit avoir été *subite, presque instantanée* (2), nous admettons qu'elle ait été opérée dans l'espace *d'une seconde*; car si l'on suppose un temps plus long, il faut supposer aussi une masse de glace plus considérable que celle du glacier d'Oo, dont les dimensions actuelles ne sont pas même assez grandes pour qu'une fusion instantanée ait pu produire un courant aussi puissant que le demande le volume des blocs transportés et surtout leur élévation au-dessus de la vallée.

La formule n° 1, p. 272 de la lettre de M. Mousson, évaluant la quantité d'eau obtenue dans le temps T par la température t agissant sur la surface a^2 , est exprimée par $q = 0.0141 a^2 t T$, où T sont des minutes. Dans le cas spécial qui nous occupe, nous avons :

$$a^2 = 800,000 \text{ mètr. carr.}$$

$$t = 4,000 \text{ degrés centigrades.}$$

$$T = 1 \text{ minute.}$$

$$\text{Par conséquent } q = 0.0141 \times 800,000 \times \frac{4,000}{1,000} \times 1 = 11,280$$

mètres cubes d'eau par *minute*, soit $\frac{11,280}{60} = 188$ mètres cubes

d'eau par *seconde*, quantité qui, en admettant avec M. Mousson la densité de la glace à 0.9, serait le produit de $188 \div 0.9 = 208.8$ mètres cubes de glace, volume qui correspond à une tran-

(1) Mon *Mémoire*, p. 6.

(2) Collegno, *Terr. diluv.*, p. 48 et 51.

che de glace de 800,000 mètres carrés de surface et de 0.0002585 mètres d'épaisseur.

L'épaisseur moyenne du glacier d'Oo ayant été estimée à 15 mètres, nous trouvons que le temps nécessaire pour opérer sa fonte aurait été $\frac{15}{0.0002585} = 58,027$ secondes = 967 minutes = 16 heures et 7 minutes.

Cependant l'hypothèse réclame un courant assez puissant non seulement pour déplacer et pour rouler des blocs de 20 à 200 mètres cubes (1), mais aussi pour les élever à 400 mètres au-dessus du sol de la vallée de Larboust; car c'est jusqu'à cette hauteur qu'on les trouve sur les flancs des montagnes qui la bordent dans la localité appelée la plaine de *Lastos* (2), dont j'estime la largeur moyenne à 1,200 mètres. Par conséquent, la hauteur relative atteinte par les blocs oblige d'accorder à ce courant au moins 400 mètres de profondeur, et, en ne lui supposant que 100 mètres de longueur et 100 mètres de vitesse par seconde (quoique les calculs de M. de Collegno la portent à 121 mètres) (3), nous avons besoin d'une masse d'eau de $400 \times 1,200 \times 100 = 48,000,000$ de mètres cubes. Mais, comme nous venons de voir que le glacier d'Oo, exposé à une chaleur de $1,000^{\circ}$, ne peut fournir par seconde que 188 mètres d'eau, il est clair qu'il faudrait avoir $\frac{48,000,000}{188} = 255,319$ fois cette quantité d'eau pour obtenir les 48,000,000 de mètres cubes nécessaires à la formation du courant que réclame l'hypothèse.

Il est donc évident que la chaleur de $1,000^{\circ}$ est encore beaucoup trop faible pour opérer la fonte soudaine du glacier, qui, comme il vient d'être dit, exigerait encore à cette température un espace de 58,027 secondes, tandis qu'elle devrait être soudaine, presque instantanée. En effet, on ne peut donner à l'hypothèse qui nous occupe quelque apparence de probabilité qu'autant que l'on admet une fusion presque instantanée. Cette considération nous engage à rechercher quel degré de chaleur les gaz auraient dû atteindre pour effectuer en *une* seconde la fusion complète du glacier d'Oo. Le degré de température nécessaire pour obtenir un effet déterminé est en raison inverse du temps, c'est-à-dire de la durée de son action. Puisque avec une température

(1) De Collegno, *Terr. diluv.*, p. 8.

(2) De Collegno, *Terr. diluv.*, p. 32.

(3) *Ibidem*.

de 1,000° il faudrait 58,027 secondes pour fondre le glacier d'Oo, il suit de là que la chaleur des gaz capables d'opérer cette fusion en *une* seconde, aurait dû être de $58,027 \times 1,000 = 58,027,000^\circ$, soit en nombre rond *cinquante-huit millions* de degrés centigrades, résultat devant lequel recule l'imagination la plus hardie et l'esprit le plus habitué aux conceptions les plus aventureuses. Je n'ignore pas que les évaluations de hautes températures sont incertaines et pèchent ordinairement par excès. Cette incertitude doit se rencontrer surtout dans la solution d'un problème aussi complexe que celui qui nous occupe, car la fonte d'un glacier doit être influencée et favorisée par une foule d'éléments et de circonstances qu'on chercherait en vain à apprécier et encore moins à faire entrer dans le calcul. C'est par cette considération que je consens à diminuer le chiffre obtenu et à réduire à 1 million les 58 millions de degrés que nous avons trouvés.

Cependant, malgré cette immense réduction, nous aurons encore une température plus de mille fois plus élevée que celle du fer fondu, chaleur capable non seulement de fondre et de vitrifier toute la chaîne des Pyrénées d'un bout à l'autre, mais même de la réduire en vapeurs. Mais si, contre toute attente, on n'était pas encore satisfait du rabais exorbitant que j'accorde, et que l'on voulût encore marchander sur le chiffre de 1 million de degrés, on ne contesterait pas du moins, j'espère, ce que j'ai avancé ailleurs (1) sur la température excessive qu'il faut supposer à des gaz capables de fondre instantanément un glacier. En effet, cette température est telle, que l'eau, bien loin de pouvoir former des courants, serait soudainement réduite en vapeurs et chassée à une distance immense des montagnes dont on veut faire le théâtre de ce phénomène incroyable.

Cette température monstre, que l'on est forcé d'attribuer aux gaz, constitue déjà à elle seule une difficulté tellement insurmontable, qu'elle rend absolument inadmissible l'hypothèse que l'on voudrait défendre. Je me dispenserai donc de rappeler ici les autres objections que j'ai élevées dans mon Mémoire contre le système des courants, objections que je pourrais, au besoin, appuyer d'un bon nombre d'autres non moins concluantes. Mais ne nous arrêtons pas davantage à tout ce qu'il y a d'extraordinaire, d'in vraisemblable et même de contradictoire dans cette condition de l'hypothèse, et admettons sans difficulté que la fonte du glacier d'Oo a pu avoir lieu sans que l'eau ait été convertie en vapeurs. Dans

(1) Mon *Mémoire*, p. 43.

ce cas, nous n'obtiendrions que 11,040,000 mètres cubes, soit en nombre rond et en négligeant la diminution résultant de la moindre densité de la glace, 12 millions de mètres cubes d'eau, c'est-à-dire seulement le quart de la quantité dont on a besoin.

En effet, comprenant que le volume du glacier d'Oo ne peut suffire à fournir les 48 millions de mètres cubes nécessaires pour former le courant dont il a besoin, M. Élie de Beaumont suppose que cette fonte des glaciers des Pyrénées a eu lieu en hiver, ce qui, dit-il, « ajoute à leur masse toutes les neiges de cette époque. »

Quoiqu'on ne puisse comprendre pourquoi l'éruption des ophites et, par conséquent, la fonte des glaciers aurait eu lieu en hiver plutôt que dans une autre saison, nous admettrons néanmoins volontiers cette hypothèse, et nous allons voir si elle peut servir à écarter la difficulté qui se présente. Le terrain dont les eaux se déversent dans la plaine de Lastos offre, d'après la feuille n° 76 de la carte de Cassini, une étendue de 31 millions de mètres carrés de surface. Supposons que, malgré la différence de leur latitude plus méridionale, il tombe dans les Pyrénées, durant un hiver, la même quantité de neige que dans les Alpes de la Savoie, quantité qui, d'après les observations de Mgr Rendu, est de 100 pouces, soit d'environ 3 mètres (1). Admettons encore que la neige réduite en eau donne le 0,3 de son volume, quoique, d'après les expériences de ce savant prélat, cette quantité ne s'élève en moyenne qu'à 0,229. Partant de ces données, qu'on n'accusera pas de pécher par une estimation trop faible, nous trouvons que les 93 millions de mètres cubes de neige, qu'on suppose s'être accumulés dans le fond de la vallée de Larboust et sur les pentes des affluents de la plaine de Lastos, ne produiraient que 27,900,000 mètres cubes d'eau, qui, ajoutés aux 12 millions provenant de la fonte du glacier d'Oo, forment un total de 39,900,000 mètres cubes, total qui serait inférieur encore de 8,100,000 mètres cubes au nombre de 48 millions de mètres cubes dont on a besoin.

M. Élie de Beaumont suppose, il est vrai, de plus, « que le globe étant alors en perturbation (à l'époque de l'éruption des ophites), il pouvait se faire que cet hiver fût *anormal*. » J'avoue que je ne saurais deviner sur quelles données on fonde cette supposition ni me rendre compte de la raison pour laquelle des ruptures de la croûte terrestre, des éruptions de roches incandescentes et des dégagements de gaz doués d'une chaleur excessive, auraient

(1) *Théorie des glaciers de la Savoie*, p. 29.

pu occasionner sur le théâtre même de cette perturbation et pendant sa durée un *hiver anormal*, une chute de neige extraordinaire, *anormale*. Ceux qui adoptent mon opinion concernant la cause des glaciers diluviens comprendront aisément comment et pourquoi une grande perturbation du globe doit provoquer, non pendant sa durée ni immédiatement après, mais dans un laps de temps plus ou moins long, une suite prolongée d'années anormales, c'est-à-dire d'années durant lesquelles la différence entre l'état thermométrique et hygrométrique de l'hiver et celui de l'été n'a pas été aussi grande dans nos climats qu'elle l'est aujourd'hui (1).

Mais ne contestons pas davantage sur la singulière coïncidence de l'éruption de l'ophite avec un *hiver anormal*, et admettons qu'il y ait eu à cette époque assez de neige et de glace pour que leur fusion ait pu fournir l'eau nécessaire aux conditions de l'hypothèse. Dans ce cas-là, qu'aurons-nous obtenu? rien qu'un courant qui, dans la plaine de Lastos, aurait eu 400 mètres de profondeur, 100 mètres de longueur, 100 mètres de vitesse, et dont les extrémités en aval et en amont auraient été terminées chacune par un plan vertical de 12,000 mètres carrés de surface. Mais pour peu que l'on veuille réfléchir à toutes ces difficultés, à toutes ces invraisemblances, je ne pense pas que l'on persiste à défendre sérieusement la possibilité d'un courant de cette forme, ni surtout à lui attribuer le transport d'énormes blocs, leur soulèvement sur les flancs des montagnes à droite et à gauche de la vallée, et à 400 mètres de hauteur, et tous les autres phénomènes qui accompagnent le terrain erratique.

Pour soutenir l'hypothèse en question, M. de Collegno et M. Élie de Beaumont (2) s'appuient sur la cause et les effets des deux inondations auxquelles donna lieu la fonte subite des neiges du Cotopaxi le 24 juin et le 9 décembre 1742.

Examinons, en premier lieu, si les effets produits par ces débâcles peuvent fournir réellement quelque argument nouveau. Voici sur ce sujet les principaux détails que nous donne Bouguer dans le passage transcrit dans le Mémoire de M. de Collegno (3).

« L'inondation du 9 décembre était la plus grande; l'eau tomba de 7 à 800 toises; les vagues qu'elle forma dans la campagne étaient élevées de plus de 60 pieds, et elle monta en certains en-

(1) *Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique*, etc., p. 311.

(2) *Terr. diluv.*, p. 50. *Bull. de la Soc. géol.*, *ibid.*, p. 406.

(3) *Terr. diluv.*, p. 50.

droits à plus de 120 pieds. Ces eaux firent, en trois heures, de 17 à 18 lieues de chemin. A 3 ou 4 lieues de la montagne, elles devaient y parcourir encore de 40 à 50 pieds par seconde. Il y eut des pierres très pesantes, de plus de 10 ou 12 pieds de diamètre, qu'elles changèrent de place, et qui furent transportées à 14 ou 15 toises de distance sur un terrain presque horizontal. De grosses masses de neiges toutes fumantes (1) étaient entraînées par l'eau, et avaient encore, quoique brisées, de 15 à 20 pieds de diamètre. »

M. Elie de Beaumont ajoute que cette débâcle a renversé des maisons, une église, etc., et a fait périr un grand nombre d'individus. Les effets de l'inondation du Cotopaxi ont donc été exactement semblables à ceux que produisit, en 1818, la fameuse débâcle de Bagne, occasionnée par l'écoulement soudain d'un lac dont la digue de glace se rompit tout à coup; à ceux causés, en 1834, par les inondations désastreuses qui eurent lieu sur les deux versants des Alpes par suite de la fonte rapide d'une grande portion de neiges et de glaces, fonte provoquée par les pluies chaudes tombées sur le faite des Alpes, depuis le Simplon jusqu'au Lukmanier; à ceux enfin des coulées de boue qui eurent lieu en 1835, à la suite de la fonte de grandes masses de glace détachées de la Dent du midi, et qui, après avoir couvert de leurs débris le fond d'un vallon, s'y fondirent rapidement sous l'influence d'une température douce.

Ainsi, lors de l'inondation de Bagne, le 16 juin 1818, l'eau atteignit, dans l'Alpe de Marseriaz, à une hauteur de 38 mètres, emportant le pont de Mauvoisin, quoique élevé de 27 mètres au-dessus du lit du torrent et le dépassant encore de 11 mètres; à 8 lieues plus bas, dans le défilé du Brocard, le courant reprit encore 30 mètres de profondeur. Le 29 août 1834, j'ai vu le Rhône, en amont des bains de Lavey, faire des bonds de 5 mètres de hauteur dans les endroits où l'eau frappait contre de gros blocs.

La débâcle de Bagne a franchi en une heure et demie les 42,224 mètres qui, d'après feu M. Escher de la Linth, représentent le développement du cours du torrent depuis la barre de

(1) Il va sans dire que la neige ne peut pas fumer; mais elle prend cette apparence lorsque, venant en contact avec un air chaud et à peu près saturé d'humidité, elle en change l'eau en vapeur vésiculaire par le refroidissement. C'est de la même manière et par la même cause que dans les Alpes les torrents de glaciers semblent fumer le soir après une journée chaude, et même de jour par un temps chaud et humide.

glace jusqu'à Martigny, ce qui donne environ 8 mètres de vitesse par seconde. A 4,000 mètres en amont du bourg de Martigny, quelques blocs de granite de 100 à 300 mètres cubes furent déplacés par cette même débâcle, qui les roula dans le lit du torrent à la distance de 600 mètres (1). Lors de l'inondation de 1834, on vit, près d'Hospenthal, au pied septentrional du Saint-Gothard, la Reuss charrier des masses de glace de 3 mètres de diamètre, détachées du glacier de Weiswasser, situé à environ 2 1/2 lieues en amont de ce village. Enfin, à l'exception de la débâcle de la Dent du midi, ces inondations ont détruit nombre de maisons, d'églises, même un village (Champsec, dans la vallée de Bagne), et ont aussi fait périr beaucoup de monde.

Mais, bien que ces inondations aient été formidables, leur action puissante et leurs effets étonnants, on ne peut cependant les mettre en parallèle avec ces énormes masses d'eau que les partisans de l'hypothèse des courants sont obligés de mettre en mouvement. En effet, il y a bien loin d'un courant de 20 à 30 mètres de profondeur et de 18 1/2 mètres de vitesse par seconde (2) à un courant qui, sur toute la largeur d'une vaste vallée, aurait dû avoir plus de 400 mètres de profondeur et la vitesse prodigieuse, incroyable même, de plus de 100 mètres par seconde.

Mais, me dira-t-on, les glaciers actuels, comparés aux anciens glaciers, n'offrent pas un volume plus considérable que les plus fortes inondations comparées aux courants diluviens. Cette remarque, il est vrai, est de toute justesse; mais elle ne constitue pas par cela même un argument en faveur de l'hypothèse des courants, parce qu'il existe entre les deux agents une immense différence dont il faut tenir compte. Cette différence, la voici : les glaciers actuels produisent exactement les mêmes effets qu'ont dû produire les grands glaciers diluviens, tandis que les inondations modernes ne produisent rien qui ressemble réellement aux phénomènes erratiques que l'on veut attribuer à l'action de prétendus courants, ou, en d'autres termes, que les effets des inondations ne sont point identiques avec les phénomènes erratiques. Les effets des glaciers actuels ne diffèrent de ceux des anciens glaciers que par leur étendue, c'est-à-dire que les premiers agissent sur une échelle infiniment plus petite que celle sur laquelle ont agi les immenses glaciers diluviens. Mais quant aux effets considérés en eux-mêmes, ils sont, je le répète, parfaitement identiques dans

(1) Mon *Essai sur les glaciers*, etc., p. 214.

(2) De Collegno, *Terr. diluv.*, p. 54.

les uns et dans les autres. Ainsi, par exemple, les glaciers transportent encore de nos jours des blocs tout aussi gros et tout aussi bien conservés que ceux qui font partie du terrain erratique; ils forment encore aujourd'hui de ces amas remarquables de blocs, tous de la même nature de roche; ils ne mêlent point les pierres qui leur viennent d'un côté de la vallée avec celles qui leur arrivent de l'autre; ils déposent encore aujourd'hui des blocs de toutes les dimensions sur les flancs des montagnes, à une grande hauteur au-dessus de leur lit; les marques de frottement, les raies et les stries qu'ils produisent sur les rochers avec lesquels ils sont en contact ne diffèrent absolument en rien de celles qu'on observe dans le domaine du terrain erratique; les accumulations de débris de roches que présente ce terrain ne se distinguent par aucun caractère essentiel des dépôts de cette nature que les glaciers forment encore aujourd'hui; en un mot, *les effets des glaciers actuels sont parfaitement identiques avec les phénomènes erratiques*, c'est-à-dire avec les effets des glaciers diluviens (1).

Mais il s'en faut de beaucoup que cette même identité se retrouve entre les effets des inondations et les phénomènes erratiques. Ni la débâcle du Cotopaxi, ni celles de Bagne, du Saint-Gothard, de la Dent du midi, sans oublier même les crues du Tarn, citées par M. de Collegno (2), n'ont rien produit de comparable avec ces grands phénomènes géologiques. En effet, leur action s'est bornée à enlever les terrains meubles qu'elles ont pu atteindre; à former des ravins; à couvrir de sable, de gravier et de pierres les champs et les prés sur lesquels elles ont débordé; à déplacer de gros blocs et à les transporter à quelque distance en les roulant sur le fond de leur cours; à dévaster des forêts; à détruire de grandes routes; à emporter des maisons, des églises, voire même des villages, et à faire périr un grand nombre d'individus et de pièces de bétail. Voilà à quoi se réduit tout ce que les débâcles les plus formidables ont fait et ont pu faire. En effet, elles n'ont jamais transporté de gros blocs sans en altérer la forme; elles ne les ont jamais déposés à quelque hauteur notable au-dessus de leur cours; elles n'ont jamais produit sur les roches, tant en place que détachées, ces sortes de stries et de raies que forment les glaciers, et qui se

(1) Dans mon *Essai sur les glaciers*, etc., § 80, p. 248, j'ai fait voir que cette identité entre les effets des glaciers et les phénomènes erratiques se retrouve jusque dans les moindres détails.

(2) *Terr. diluv.*, p. 36.

retrouvent dans le terrain erratique (1). Les matériaux qu'elles transportent, elles ne les ont jamais conservés sur le même côté de la vallée par lequel ils leur étaient arrivés; mais elles les ont toujours mêlés et répandus sur toute la largeur de leur cours; elles n'ont jamais donné lieu à des accumulations semblables à celles du vrai terrain erratique, pourvu toutefois qu'on veuille bien ne pas confondre avec ces accumulations, comme on le fait fréquemment, les dépôts diluviens et alluviens. En un mot, *les effets des débâcles les plus violentes ne sont en aucune manière identiques avec les phénomènes erratiques.*

Si les inondations ne prouvent rien en faveur de l'hypothèse des courants, elles nous apprennent, en revanche, à juger les effets qu'auraient dû produire les courants monstres qu'elle réclame. Ainsi, par exemple, nous voyons avec quelle facilité les inondations attaquent et emportent les terrains meubles, tels que les éboulis qui, dans les vallées, constituent ordinairement les talus qui longent le pied des montagnes. Qu'on réfléchisse à l'action qu'aurait dû exercer sur ces talus un courant de la force de celui auquel on voudrait attribuer le transport des débris erratiques de la vallée du Rhône. Ce courant aurait dû avoir, dans le voisinage de ma demeure, un profil de 5 1/2 millions de mètres carrés (2).

(1) Dans ma *Notice sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse* lue le 29 juillet 1834 à la Société Helv. des scienc. natur. réunie à Lucerne, et insérée dans les *Annales des mines*, vol. VIII, j'ai appelé le premier l'attention des géologues sur l'identité des raies et stries tracées par les glaciers avec celles qu'on observe dans les limites du terrain erratique, faisant observer que les matériaux charriés par les eaux ne produisent point ces sortes de sculptures. Ce dernier fait, qu'un très petit nombre de géologues voudraient encore mettre en doute, a été pleinement confirmé par les observations de MM. Agassiz, Forbes, Martins, Escher de la Linth, etc. M. Éd. Collomb s'est assuré de l'exactitude de mon assertion par une expérience très ingénieuse : il a soumis artificiellement des galets aux mêmes conditions dans lesquelles ils se trouvent pendant qu'ils sont charriés par l'eau, et il a reconnu que ce genre de frottement ne leur occasionne ni stries ni raies, mais qu'au contraire des galets rayés deviennent lisses par cette opération.

(2) D'après la feuille n° 47 de la magnifique carte suisse de la Confédération, la largeur de la vallée du Rhône, mesurée au sol, depuis le hameau de Villy jusqu'au pied de la montagne à Collombey, est de 4,960 mètres, et, mesurée à la hauteur jusqu'à laquelle on trouve les débris erratiques venus du Valais, et qui est de 747 mètres, nous la trouvons de 9,770 mètres. Par conséquent, la largeur moyenne

Si nous lui supposons , avec M. de Buch (1), 114 mètres de vitesse par seconde, nous trouvons que le volume d'eau qui y aurait passé dans une seconde aurait été de 627 millions de mètres cubes, quantité suffisante pour faire hausser instantanément le lac Léman de plus de 1 mètre , et pour convertir en un lac de 18 mètres de profondeur tout le terrain compris dans l'enceinte de l'octroi de Paris (2). Si donc un courant de cette force eût jamais passé par une vallée , il aurait emporté avec lui toutes les pierres détachées jusqu'à la hauteur à laquelle il aurait atteint. Mais cette dénudation , cet enlèvement complet des terrains meubles n'existe dans aucune contrée offrant les phénomènes erratiques ; car on trouve non seulement dans les plaines au pied des montagnes , mais aussi dans l'intérieur des vallées , des terrains meubles qui datent évidemment d'une époque antérieure au transport des débris erratiques , parce que ces débris leur sont superposés.

Nous venons d'examiner les inondations du Cotopaxi sous le point de vue de leurs effets , et nous avons trouvé que ces effets sont absolument les mêmes que ceux de toutes les grandes inondations , mais nullement comparables aux phénomènes erratiques. Il nous reste encore à voir si la cause qui les a produits peut étayer l'hypothèse à l'appui de laquelle MM. Élie de Beaumont et de Collegno ont cru pouvoir citer ces faits.

D'après l'extrait donné par M. de Collegno , voici le seul passage de la relation de Bouguer qui se rapporte à la cause de ces inondations : « Le dernier incendie du Cotopaxi , celui de 1742 , » qui s'est fait en notre présence , n'a causé du tort que par la » fonte des neiges. » Ce passage nous laisse dans l'incertitude sur le mode de la fusion , car il ne dit pas si elle a été opérée par la chaleur du volcan ou par des coulées de lave , ni si cette fusion a été augmentée et secondée par les pluies torrentielles qui accompagnent quelquefois les éruptions volcaniques. Malgré cette lacune dans le passage du célèbre académicien , on voit cependant clairement que la fonte des neiges a été opérée par l'action du volcan.

Voulant attribuer une cause analogue aux prétendus courants des Alpes et des Pyrénées , montagnes dans lesquelles il n'y a

de cette portion de la vallée est de 7,357 mètres, et son profil $7,357 \times 747 = 5,501,655$ mètres carrés.

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. X, p. 241.

(2) La surface de ce terrain a été indiquée par les derniers journaux à 34,596,800 mètres carrés.

point de volcans , M. Élie de Beaumont suppose que la fusion des glaciers des Alpes a été opérée par des gaz chauds qu'on croit avoir concouru à la formation des dolomies et des gypses. Quant aux Pyrénées , M. de Collegno a également recours au dégagement des gaz chauds qui a probablement accompagné l'éruption des ophites, et a métamorphosé en gypse et en dolomie le calcaire au milieu duquel cette éruption a eu lieu en nombre d'endroits (1). J'ai fait voir, dans mon *Essai sur les glaciers et le terrain erratique* (§ 82), que le transport des débris erratiques n'est point *contemporain* du dernier soulèvement des Alpes, mais qu'il lui est *postérieur*, quoique le temps écoulé entre ces deux grands phénomènes ne paraisse pas avoir été, géologiquement parlant, bien long. L'éruption des ophites, datant probablement de la même époque que ce soulèvement, est donc aussi antérieure au transport des débris erratiques, ainsi que les gaz chauds qui durent l'accompagner. De plus, tout engage à croire, comme je le fais voir dans mon mémoire, qu'il n'existait point de glaciers dans les Pyrénées à l'époque de cette grande catastrophe.

Enfin , M. Élie de Beaumont conclut des effets produits par les inondations du Cotopaxi que « si ce phénomène en petit fût » arrivé dans une grande chaîne, le phénomène diluvien aurait » produit des effets comparables à ceux que nous voyons dans les » Alpes. »

Cette conclusion paraît de prime abord admissible, mais en l'examinant de près on est forcé d'être d'un avis contraire. En effet, si une fonte de neiges semblable à celle du Cotopaxi eût eu lieu à la fois dans toutes les vallées des Alpes ou dans toute la chaîne des Pyrénées, nous n'aurions eu dans chaque vallée qu'une inondation dont la force aurait été proportionnée à la quantité de neige fondue et à la pente de la vallée. Quelque considérables que l'on suppose et le volume des eaux et la vitesse des courants, leurs effets, comme je l'ai fait voir, n'auraient jamais été identiques avec les phénomènes erratiques. Ils n'auraient fait que déblayer les vallées et augmenter ainsi considérablement les dépôts qui constituent le sol de la plaine au pied de ces montagnes.

Si de telles débâcles avaient jamais eu lieu, s'il avait existé de tels courants, nous reconnaitrions dans le diluvium leur action

(1) Mon *Essai sur la constitution géognostique des Pyrénées*, p. 508 et 513. — *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, vol. II, p. 188.

soudaine et impétueuse par l'absence complète de stratification , caractère sûr et constant de tous les dépôts produits subitement par une cause de cette nature. Mais le diluvium , composé de couches de galets , de gravier , de sable et de limon , démontre par la régularité de sa stratification qu'il n'a point été déposé à la fois et par une cause violente et soudaine , mais qu'il est le résultat des dépôts successifs qu'ont laissés après elles les crues et les décrues des torrents et des rivières qui pour la plupart se sont échappés des vastes glaciers qui , postérieurement au soulèvement des Alpes du Valais et à l'éruption des ophites , ont existé dans les Alpes et dans les Pyrénées.

Il résulte donc de l'examen de l'objection de M. Élie de Beaumont qu'elle n'est point fondée , et que l'hypothèse de la fonte soudaine des glaciers est inadmissible :

1^o Parce qu'elle exige le concours d'un degré de chaleur qui n'a pu être produit au moins depuis la solidification du globe ;

2^o Parce que cette chaleur , convertissant instantanément l'eau en vapeurs , n'aurait pu donner naissance à des courants ;

3^o Et parce que les effets des courants ne sont nullement identiques avec les phénomènes erratiques.

Sur quelques Oursins fossiles de la Patagonie.

M. Desor fait voir à la Société quelques Oursins fossiles d'une belle conservation , rapportés par M. Darwin de la Patagonie. Ce sont trois espèces du groupe des Scutelles , appartenant à trois genres différents , savoir : 1^o un *Echinarachnius* très voisin de l'*Echin. Parma* , Gray , mais qui en diffère cependant en ce que l'anus , au lieu d'être marginal , est à la face inférieure. M. Desor propose de l'appeler *Echinarachnius Julien-sis*. Les échantillons ont été recueillis dans un grès tertiaire , d'apparence mollassique , du port Saint-Julien ; 2^o une vraie Scutelle , voisine du *Sc. Paulensis* , Agass. , de Saint-Paul-Trois-Châteaux , mais proportionnellement moins large en arrière. Cette espèce , que M. Desor appelle *Scutella Patagonensis* , se trouve dans une brèche tertiaire du Port-Désiré ; 3^o une espèce d'un type particulier , caractérisée par la présence d'une seule lunule située dans l'aire interambulacraire postérieure , et dont M. Agassiz a fait un groupe à part , qu'il appelle *Monophora*. L'espèce porte le nom de *M. Darwini* ,

Agass. L'échantillon provient de la même localité que l'espèce précédente.

Quoique aucune de ces espèces ne soit spécifiquement identique avec celles d'Europe, elles n'en autorisent pas moins quelques déductions géologiques. Et d'abord le groupe des Scutelles tout entier ne remonte pas au-delà des terrains tertiaires (1). Le genre *Echinarachnius* ne comptait jusqu'ici qu'une seule espèce fossile, l'*Ech. incisus*, Agass., du terrain tertiaire de Blaye. Le type des Scutelles à bord entier ne se poursuit pas au-delà des terrains tertiaires moyens, et même on n'en connaît aucune espèce dans le calcaire grossier. Il en est de même des Scutelles perforées.

M. Desor en conclut que le dépôt dont proviennent ces espèces est sans aucun doute un dépôt tertiaire, appartenant probablement à la période moyenne (miocène) dont font partie la mollasse et les faluns, qui sont les terrains les plus riches en Scutelles.

M. le secrétaire donne lecture de la note suivante :

Note sur des moraines d'anciens glaciers à Olichamp, près de Remiremont, dans les Vosges, par M. Ern. Royer (2).

Plusieurs géologues se sont occupés des traces d'anciens glaciers que l'on rencontre dans les montagnes des Vosges ; MM. Hogard, Le Blanc et Renoir ont publié, soit dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, soit ailleurs, le fruit de leurs observations. La question des glaciers, intimement liée à celle des blocs erratiques, est une des plus intéressantes de la géologie et une de celles qui fixent le plus aujourd'hui l'attention des personnes qui cultivent cette science. Quelques courses dans les Vosges m'ayant donné occasion de voir aussi des moraines, je crois devoir ajouter les faits que j'ai observés à ceux déjà connus jusqu'ici.

(1) On a, à la vérité, décrit dans le *Bulletin de la Soc. géol.*, sous le nom de *Laganum Marmonti*, Baud., une espèce de l'oxfordien de Châtillon-sur-Seine. Mais cette espèce n'est pas un véritable *Laganum*; elle appartient au genre *Pygurus*, Agass., qui est limité aux terrains secondaires.

(2) Plusieurs causes ont retardé la publication de cette Note, qui devait paraître avec les séances d'Avallon.

Au mois de juillet 1843 j'allai visiter la magnifique vallée du Val-d'Ajol et la gorge sauvage, encaissée dans de sombres forêts de sapins, où reposent les ruines de l'abbaye d'Érival. Je vins aboutir, à travers ces bois et les hautes terres couvertes de bruyères et de myrtilles, au hameau d'Olichamp, placé dans une espèce de bassin élevé, à surface presque horizontale, sur la route de Remiremont à Plombières; je fus frappé, dès ce jour, de la singulière apparence qu'offrent près de ce hameau certaines buttes allongées, et l'idée de moraines me vint immédiatement à l'esprit. Au mois d'août suivant, je traversai de nouveau la petite plaine d'Olichamp; mes soupçons se confirmèrent; enfin, le 24 juin 1844, je partis de Remiremont dès le matin pour aller visiter attentivement les lieux et dresser le petit plan que je joins à cette notice.

La gauche de la vallée de la Moselle, depuis le ballon de Servance jusqu'au-delà de Remiremont, est constituée par une chaîne de montagnes composées de roches anciennes dont la direction est du S.-E. au N.-O. La hauteur du ballon de Servance, qui en forme le point culminant, est de 1,189 mètres au-dessus du niveau de la mer; mais tout à coup la chaîne s'abaisse, et pendant environ 24 kilomètres, jusqu'en face de Remiremont, sa hauteur oscille entre 675 et 750 mètres. Cette chaîne, du côté de la Moselle, tombe tout à coup et forme un long rempart dont les pentes sont sillonnées seulement par quelques vallons dont les plus longs ont à peine deux kilomètres; du côté de la Franche-Comté, au contraire, à partir du sommet de la chaîne, des plateaux à pentes allongées vont en s'abaissant lentement vers la plaine, et sont sillonnés par des vallées profondes où des rivières assez importantes prennent leur origine. Quelques cols échancrent l'arête supérieure de cette chaîne et donnent passage aux vallées dont je viens de parler dans celle de la Moselle, mais néanmoins son ensemble donne l'idée d'une longue barrière qui borne tout à coup et d'une manière nette et précise le bassin de la Moselle sur sa gauche; il n'en est pas de même de sa droite: des vallées importantes descendent de la chaîne centrale des Vosges et viennent apporter à cette rivière le tribut de leurs eaux. Cette description préliminaire m'a paru nécessaire pour faire comprendre l'origine des moraines d'Olichamp.

On peut regarder ce que j'ai appelé la petite plaine d'Olichamp comme le point culminant d'un col conduisant de la vallée de l'Augronne dans celle de la Moselle à Remiremont; à la vérité, la chaîne, qui avait conservé une certaine hauteur jusqu'à la monta-

gne du Sapenois qui domine Olichamp, ne reprend plus cette hauteur au-delà du col, et de plus, ce col est peut-être trop évasé pour qu'il puisse se prêter complètement à l'idée que l'on attache ordinairement à cette dénomination; ce passage en a néanmoins les principaux caractères.

Au point culminant des deux pentes opposées, la montagne du Bambois, qui se rattache à celle du Sapenois, laisse entre elle et celle des bois de Humont un espace d'environ 800 mètres, occupé en partie par une surface plane d'environ 1,200 à 1,300 mètres de longueur, dont la pente est dans la direction du S.-O. vers Plombières, et dont les eaux forment deux petits ruisseaux qui se réunissent pour donner naissance à la rivière de l'Augronne, en partie par un terrain plus accidenté, dont la pente, à partir de l'extrémité N.-E. du précédent, se prononce rapidement dans la direction opposée, et qui est traversé également par un ruisseau qui va porter ses eaux dans la Moselle (voyez la pl. I, fig. C).

Des deux côtés du col, la masse inférieure des montagnes est granitique; leur partie supérieure est composée de grès des Vosges; un abondant terrain de transport s'est accumulé dans la vallée ou espace qui les sépare; les matériaux qui le composent sont de toutes dimensions: généralement c'est un sable, tantôt fin, tantôt grossier et terreux, mélangé de galets polis et arrondis et parsemé de blocs erratiques qui sont enterrés entièrement ou à demi, ou bien gisants à la surface. Ce terrain de transport ne se borne point à l'espace que je viens de décrire, mais on peut l'observer en allant vers la Moselle, et quand on marche dans la direction opposée on trouve qu'il a continué à remplir le vallon de l'Augronne jusqu'à une assez grande distance vers Plombières. Cette rivière a tracé son sillon dans ce terrain; l'ancienne route l'a souvent entamé, et, sur plusieurs points, les travaux de la nouvelle route ont mis à nu ses bancs de galets arrondis.

Six moraines traversent le col en allant d'une montagne à l'autre; je vais dire quelques mots de chacune d'elles, en commençant par celle qui est la plus rapprochée de Remiremont; le plan et la coupe joints à cette notice suppléeront à l'insuffisance de la description.

La route de Remiremont à Plombières, en quittant la première de ces villes, est tracée sur les flancs d'une montagne granitique; elle laisse à sa droite un terrain surbaissé très accidenté, dans lequel est creusé le vallon sinueux par lequel le ruisseau dont j'ai parlé s'écoule dans la Moselle. Au point D elle a atteint des masses de matériaux de transport qui reposent sur les flancs granitiques

de la montagne , et elle s'avance à partir de là sur ces matériaux qui forment des buttes terrassées démantelées, et qui pourraient bien s'être amassés autrefois sur les flancs du glacier. On peut voir la roche ancienne , qui est un beau granite gris , dans une carrière dans le bois en C , et le terrain de transport dans les coupures EE faites par la route. Bientôt se présente la première moraine terminale. C'est une chaussée d'environ 500 mètres de long, de 70 à 100 de large ; sa hauteur est d'environ 40 mètres au-dessus du vallon du côté du N. , et de 15 mètres au-dessus de l'espace qui la sépare de la deuxième moraine ; sa composition est mise au jour dans la traversée de la route , et dans une excavation , près de la maison de Lorette , elle barrait entièrement le vallon et formait une portion de cercle dont la concavité fait face à la vallée de la Moselle. Le ruisseau qui prend naissance entre cette moraine et la suivante y a produit une profonde coupure qui la sépare en deux portions et par laquelle il s'écoule.

La deuxième moraine a environ 800 mètres de longueur ; comme la première , elle barre entièrement la vallée et forme une portion de cercle parfaitement dessinée , disposée dans le même sens. Sa plus grande largeur est d'environ 100 mètres ; sa hauteur au-dessus de la première d'environ 40 à 42 mètres , et par conséquent , au-dessus de l'espace qui les sépare , de 25 à 27 mètres , et au-dessus de la surface plane qui commence à son pied pour s'étendre vers les suivantes , seulement de 5 à 6 mètres dans sa plus grande hauteur. Quoiqu'elle ne soit plus traversée aujourd'hui par aucun ruisseau , elle est néanmoins coupée vers son milieu par une échancrure ; la route de Remiremont profite de cette ouverture pour la traverser , après l'avoir suivie depuis le point où elle s'appuie sur la montagne du Bambois. Pour établir cette route on l'a entamée latéralement dans toute cette étendue , et il est facile de juger de sa composition. C'est un sable terreux , d'un jaune rougeâtre , en couches courbées comme la surface du sol , mélangé de galets et de blocs de diverses grosseurs , de roches très variées ; on y trouve du granite ordinaire , du granite porphyroïde , du trapp , du quartz , de l'eurite porphyroïde , etc. Cette moraine a une grande ressemblance avec une chaussée ; aussi un chemin qui en parcourt une partie s'appelle-t-il le chemin de la jetée , et une maison voisine a-t-elle pris le même nom. C'est à partir de là que le sol s'incline vers l'Augronne et présente une surface sensiblement plane , due évidemment , comme je le dirai plus tard , à un remplissage qui s'est accumulé autour des moraines suivantes.

L'espace compris entre la deuxième et la troisième est d'environ 250 mètres: c'est un sol marécageux, occupé en partie par un petit étang dont il sort un ruisseau; la troisième moraine, dont on ne voit plus que le sommet très peu saillant au-dessus du sol de la plaine, est irrégulière et paraît se subdiviser.

La quatrième, plus prononcée que la précédente, est coupée par le ruisseau qui sort de l'étang et par un filet d'eau qui descend des bois à son autre extrémité, et enfin par la route; elle est aussi fort irrégulière, et atteint parfois 5 à 6 mètres de hauteur.

Un espace de 350 à 400 mètres la sépare de la cinquième, qui n'est qu'un reste fort peu apparent traversé par la route et complètement détruit à ses deux extrémités par les deux ruisseaux.

Enfin, la sixième moraine est une des plus considérables: elle a été détruite vers son milieu par les deux ruisseaux qui se sont réunis et traversée par la nouvelle route; vers son extrémité orientale, elle s'avance davantage vers le S., tandis que vers le point F elle fait une inflexion, motivée par la butte de roches anciennes G. On aperçoit au pied de cette butte comme un reste d'un ancien amoncellement.

Malgré la rapidité avec laquelle j'ai vu ces restes de l'existence de glaciers des Vosges, ces témoins m'ont paru évidents, irrécusables, et je n'ai point hésité à les appeler moraines; ils en ont toute la régularité, toute la disposition, tous les caractères; il ne manque que les roches polies; mais, si je n'en ai pas rencontré, c'est très probablement parce que je n'ai pas eu le temps d'en chercher. Je vais ajouter, à titre de conclusion, quelques observations à la description précédente.

La concavité de la courbe des moraines d'Olichamp étant tournée vers Remiremont, indique évidemment que le glacier qui les a produites venait de la vallée de la Moselle; sa direction dans le sens inverse ne pourrait être admise, puisqu'il faudrait pour cela que le glacier se fût dirigé vers le centre des montagnes au lieu de s'en éloigner. M. Hogard, d'ailleurs, a donné des preuves de l'existence des glaciers qui ont couvert la chaîne des Vosges, et notamment le bassin de la Moselle; appuyé sur un observateur aussi éclairé, je n'ai point à hésiter, et sans chercher à prouver autrement que par la description que je viens de faire cette existence suffisamment établie par ce géologue, je vais dire ce que je pense pouvoir être admis comme ayant existé dans cette partie des Vosges. A une certaine époque, un immense glacier remplissait la vallée de la Moselle, et avait sa direction vers le N.-O.; il était limité, vers le S.-O., par la chaîne dont j'ai donné la description au

commencement de cette notice, chaîne qui remplissait pour lui le rôle d'une immense chaussée latérale; des rameaux de cette mer de glace profitaient, si je puis me servir de ce terme, des issues que leur fournissaient les parties basses de la chaîne pour descendre dans les vallées voisines; le col d'Olichamp était l'une de ces issues. Je n'ai point visité le Thalweg des vallées qui prennent leur origine dans les autres cols échancrant la crête jusque vers le ballon de Servance; mais je ne serais point étonné qu'elles présentassent aussi des traces de l'action des glaces; j'ai vu dans l'une d'elles, dont j'ai parlé, celle d'Érival, notamment près de l'auberge du Bas-Érival, et, au-delà des grandes roches de quartz de cette gorge sauvage, des blocs de transport de fortes dimensions de granite porphyroïde et de syénite. — Je reviens à Olichamp et à l'action du glacier, ou, pour mieux dire, du rameau qui prenait sa direction par la vallée de l'Augronne.

Le vallon de l'Augronne avait d'abord une profondeur plus grande que celle que nous lui voyons aujourd'hui; les matériaux amenés par le glacier, non seulement se disposaient à son extrémité sous forme de moraines, mais étaient transportés par les eaux résultant de la fonte de la glace jusqu'à une certaine distance dans le vallon qu'ils ont comblé en partie; le cours du ruisseau, les deux routes, l'ancienne comme la nouvelle, entament çà et là ces anciens atterrissements. Pendant ce charriage, qui remplissait ainsi la vallée à partir de l'extrémité inférieure du glacier, l'espace qu'il occupait lui-même restait vide de tout dépôt, et ce n'était qu'à mesure qu'il se retirait que le comblement s'allongeait dans la partie qu'il venait d'abandonner. Quand son extrémité s'est arrêtée pendant un long espace de temps sur le même point, le dépôt s'y est accumulé à une plus grande hauteur sous la forme de *bourrelet* ou *moraines*; puis, quand, par une circonstance quelconque, le glacier se retirait de nouveau, l'espace entre cette moraine et le dernier point où il s'était arrêté et où il commençait une nouvelle moraine, étant plus bas que les dépôts antérieurs, restait rempli d'eau, puis il finissait par se combler à son tour: telle est l'explication probable du remplissage du bassin d'Olichamp. Les quatre dernières moraines reposent dans une plaine dont l'horizontalité est remarquable, et s'explique parfaitement par ce remplissage. Il est tout à fait probable que ces moraines étaient beaucoup plus élevées au moment où le glacier les abandonnait, et que toute leur base est cachée par les atterrissements qui se sont faits autour d'elles, lesquels constituent aujourd'hui le sol de la plaine; ce sol est, du reste, composé de matériaux complètement semblables à

ceux des moraines, sauf la dimension, comme on en peut juger par quelques excavations. La disposition de la deuxième et de la première moraine confirme entièrement cette explication de la manière dont les choses se sont passées; nous y surprenons la nature sur le fait, ou, pour mieux dire, la nature nous a laissé son ouvrage inachevé, comme pour nous laisser voir la manière dont elle a opéré, ainsi qu'un tisserand qui aurait laissé son étoffe sur le métier pour faire comprendre comment a été conduit son travail. Au moment où le glacier abandonnait la deuxième moraine, tous les espaces précédents étaient comblés, et la plaine était arrivée au niveau où nous la voyons; en se retirant, il laissa, rempli d'eau, le profond espace H compris entre lui et cette deuxième moraine; cette eau s'écoulait par l'échancrure I que nous y voyons aujourd'hui. Pendant ce temps, la première moraine, qui est la dernière dans l'ordre chronologique, se formait, et l'espace H se comblait insensiblement; mais avant que ce remplissage fût terminé, avant que la moraine fût arrivée au niveau des autres, le glacier se retira définitivement, cessa son travail et disparut; les eaux qui restèrent dans l'espace H, et celles qui y arrivèrent par la suite, ne s'écoulèrent plus par l'ouverture I, plus élevée que le sommet de la première moraine; revenant en quelque sorte sur elles-mêmes, elles passèrent par-dessus celle-ci, qu'elles finirent par couper complètement, comme elle l'est aujourd'hui.

Telle est l'explication simple, naturelle de la forme actuelle du petit bassin d'Olichamp; je ne crois pas qu'il soit possible d'expliquer par une autre cause que les glaciers sa disposition si curieuse. Je serai heureux si ces notes peuvent ajouter à l'évidence de l'ancienne existence de glaciers dans les Vosges.

Lettre de M. Ern. Royer à M. Virlet, à l'occasion de la précédente notice.

Forges de Cirey, 25 janvier 1847.

J'ai reçu votre obligeante lettre, et je m'empresse d'y répondre; je pensais bien que M. Hogard devait avoir vu les moraines d'Olichamp: c'est, en effet, aux pages 48 à 52 de son intéressante brochure (1) qu'il en parle, et sa planche VI est consacrée à la même localité, qu'il indique sous le nom de col de la Demoiselle. Dans

(1) *Observations sur les moraines et sur les dépôts de transport ou de comblement*, par M. Hogard; in-8, Épinal, 1842.

les bourrelets figurés sur cette planche , entre C et B , vous reconnaîtrez les moraines n^{os} 1 et 2 de mon petit travail.

Ma notice , comme vous l'avez vu , se divise naturellement en deux parties : 1^o la description des lieux ; 2^o des conjectures sur la direction du glacier qui a produit ces moraines , et son mode d'action. La description des lieux est aussi exacte que le peu d'heures que j'ai passées à Olichamp me permettaient de le faire , et je vois avec plaisir que M. Hogard a pensé , comme moi , qu'un glacier seul pouvait avoir produit de tels effets. Quant aux conjectures auxquelles j'ai osé me livrer , il n'y a rien dans ce qu'il a écrit qui y soit opposé ; cependant je sais qu'elles peuvent rencontrer des causes sérieuses de contradiction : 1^o l'étude du voisinage d'Olichamp , notamment du col de la Grande-Courrué , où des faits fort importants doivent exister , m'a manqué ; 2^o l'existence d'un glacier assez considérable pour remplir la vallée de la Moselle effraie l'imagination ; 3^o les traces de glaciers que l'on rencontre en remontant la vallée de la Moselle , au lac de Fondromé , à Rémanvillers et près du Thillot , étant situées dans cette vallée même , et annonçant l'ancienne existence de glaciers descendant des versants voisins dans la vallée , ces glaciers ne se comprendraient pas si elle avait été remplie par la glace à un niveau supérieur à celui de ces témoins actuels. Cependant ces faits , en apparence contradictoires , peuvent trouver une explication : 1^o dans la différence de niveau du col d'Olichamp et des autres moraines de la vallée de la Moselle ; 2^o dans la différence des temps dans lesquels le glacier ou les glaciers ont pu agir , et par conséquent dans les différents niveaux qu'aura atteints le glacier de la Moselle , allant toujours en diminuant , s'abaissant de siècle en siècle.

J'ai senti les difficultés ; cependant j'ai pensé que le glacier qui a produit les moraines d'Olichamp devait se diriger vers l'Au-gronne ; mon opinion est basée : 1^o sur la courbe si prononcée des moraines , dont la concavité regarde la Moselle. Cette courbe est surtout remarquable dans la deuxième ; l'on ne comprend pas comment le glacier , dont la partie médiane devait , comme dans les glaciers actuels , être plus en avant , aurait pu lui donner cette forme s'il se fût dirigé dans le sens inverse ; et comment il aurait pu porter les matériaux aux deux extrémités , surtout à l'extrémité S. , dont l'emplacement aurait été comme abrité par la montagne granitique , qui s'avance comme un promontoire sur la plaine ; 2^o sur le remplissage de la plaine d'Olichamp , depuis la deuxième moraine jusqu'à la sixième et au-delà , lequel a caché successivement la base des moraines , de manière à ne plus laisse

paraître que leur sommet; ce remplissage a conservé, comme cela devait être dans la supposition où les matières qui le composent venaient du côté de la Moselle, une légère pente vers la vallée de l'Augronne, et s'est étendu vers cette vallée; s'il s'était opéré au moyen de matériaux venus de l'autre extrémité, la plaine aurait une pente inverse; 3° sur l'espace resté vide entre la première et la deuxième moraine, lequel aurait dû, dans l'opinion contraire, se remplir le premier; l'étang marécageux existant entre la deuxième et la troisième ajoute à cette preuve, en indiquant que cet espace n'avait pas encore atteint le niveau des autres quand l'eau produite par la fonte du glacier cessa d'y apporter des matériaux; 4° sur la direction de la cinquième et de la sixième moraines; si le glacier se fût dirigé vers la Moselle, il n'aurait pu partir que d'un seul point; des hauteurs d'Érival; dans ce cas, ces moraines auraient été dans une position oblique par rapport à son extrémité, ce qui ne peut se comprendre que difficilement. Telles sont, monsieur, les quelques observations que je crois devoir vous soumettre, en vous priant, si vous les croyez dignes d'intérêt, de les joindre à la lecture de ma notice à la Société géologique de France; la partie descriptive a seule du prix pour moi si elle peut ajouter quelque chose aux nombreux documents que l'on possède sur les Vosges: la partie conjecturale aurait bien son intérêt aussi, mais je ne la présente, comme tout ce qui est hasardé, qu'avec réserve, et en réclamant d'avance l'indulgence de nos confrères.

M. Virlet fait la communication suivante :

Sur les traces d'anciens glaciers aux environs de Lure, département de la Haute-Saône; par M. Virlet d'Aoust.

Depuis la publication de MM. Hogard et Ernest Royer sur les moraines du versant méridional de la chaîne des Vosges et de MM. Le Blanc et Edouard Collomb sur celles de son versant oriental, on admet généralement que cette chaîne donnait autrefois lieu à la formation de glaciers qui rayonnaient de toutes parts autour du massif des ballons, à l'instar de ce qui se voit encore aujourd'hui autour des sommets principaux de la chaîne des Alpes; et M. Le Blanc a démontré (1) qu'il suffisait d'un simple abaissement de 7° dans la température moyenne des lieux circonvoisins pour que le phénomène ait pu se produire.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, 1^{re} série, t. XII, p. 432.

TABLEAU COMPARÉ

DES CARACTÈRES PRINCIPAUX DES GENRES DE **TRIOBITES** TROUVÉS DANS LE DÉPARTEMENT D'ILLE-ET-VILAINE. — PAR M. MARIE ROUAULT.

		CALYMÈNE.	PROETUS.	PHACOPS.	CRYPTHOEUS.	POLYÈRES.	PRIONOCHEILUS.	CHEIRURUS.	ILLOENUS.	NILLOEUS.	OGYGIE.	TRINUCLEUS.
Du BOUCLIER considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	N'occupant que le quart au plus de la longueur totale de l'animal; égal en largeur à l'abdomen.	Comme ci-contre.	Plus d'un quart de la longueur totale de l'animal; un peu plus large que l'abdomen.	Comme ci-contre.	Paraissant être dans les mêmes proportions que chez les Phacops.	Près d'un tiers de la longueur totale; un peu plus large encore que chez les Phacops.	Probablement un tiers de la longueur totale; très développé en largeur.	Un tiers au moins de la longueur totale; plus large que l'abdomen, forme presque globuleuse.	Comme ci-contre.	De forme elliptique, occupant plus d'un tiers de la longueur totale; plus large d'un tiers au moins que l'abdomen.	De forme circulaire, occupant plus de la moitié de la longueur totale de l'animal; présentant en largeur deux fois celle de l'abdomen.
	Des angles postérieurs.	De forme plus ou moins arrondie.	De forme anguleuse sans prolongement.	Se prolongeant un peu chez quelques espèces.	Se prolongeant un peu comme chez certaines espèces de Phacops.	Un peu plus prolongé que chez les Phacops.	Comme ci-contre.	De forme arrondie.	Complètement nuls.	Comme ci-contre.	Se prolongeant à un tel point que, chez quelques espèces, ils dépassent parfois la longueur de l'abdomen.	Se prolongeant de telle sorte qu'ils dépassent de beaucoup la longueur totale du corps, et se bifurquant dans certains cas.
	Des organes de la vue.	Yeux lisses, petits, de forme arrondie.	Comme ci-contre.	Yeux à facettes sur un tubercule.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Inconnu.	Yeux lisses, volumineux, de forme arrondie.	Yeux lisses, volumineux, formés d'un cône tronqué obliquement près de sa base.	Yeux lisses, volumineux, formés d'un cône tronqué obliquement, plus près encore de la base de sorte que le cône n'est plus qu'une ligne saillante circulaire.	Yeux représentés par une ligne plus ou moins circulaire, mais jamais complètement, laquelle n'a plus rien qui rappelle la corée; la forme de cet organe prend de plus en plus celle d'un lobe.	Yeux remplacés par des lobes, lesquels ne rappellent plus rien des organes de la vue.
	De sa résistance aux déformations accidentelles.	Ordinairement pas plus déformé que l'abdomen.	Comme ci-contre.	Moins déformé que l'abdomen, surtout chez les espèces dont le bouclier porte des appendices.	Id. que ceux qui ont des appendices au bouclier.	Peu déformé.	Moins susceptible que l'abdomen de se laisser déformer.	Peu déformé; l'abdomen étant détruit, on est porté à croire qu'il offrait peu de résistance aux actions extérieures.	Moins susceptible que l'abdomen de se laisser déformer.	Comme ci-contre.	Beaucoup moins susceptible que l'abdomen d'être déformé par des causes accidentelles.	Déformation très limitée et même nulle dans certaines parties, contrastant avec l'abdomen qui paraît avoir été susceptible de peu de résistance.
De l'ABDOMEN considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	Constituant la plus grande partie de la longueur totale de l'animal.	Comme ci-contre.	Dépassant peu la longueur du bouclier.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Un peu plus d'un tiers de la longueur totale de l'animal.	Inconnu.	Formant environ un tiers de la longueur de l'animal.	Comme ci-contre.	Moins d'un tiers de la longueur totale.	Ne formant à peine qu'un quart de la longueur totale de l'animal.
	Du nombre des articulations qui le composent et de leurs formes.	Composé de 13 articulations au moins, dont la forme est ronde et très arquée.	De 10 articulations de forme ronde et très arquée.	De 11 articulations moins rondes et très arquées, surtout chez les espèces dont le bouclier est appendiculaire.	De 14 articulations moins rondes et moins arquées, comme chez les Phacops.	Articulations dont le nombre et la forme sont inconnus: prolongements sub-cylindriques.	Articulations presque plates, peu arquées.	Inconnu.	De 10 articulations très plates et très peu arquées, ou lobe moyen seulement.	De 8 articulations très plates et peu arquées, seulement au lobe moyen.	De 8 articulations très plates, bien peu arquées.	De 6 articulations extrêmement plates, peu arquées, au lobe moyen seulement.
Du POST-ABDOMEN considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	N'occupant guère que le cinquième de la longueur totale de l'animal, et ne se distinguant pas de l'abdomen chez certaines espèces.	Comme ci-contre.	Occupant un tiers de la longueur totale, surtout chez ceux dont le bouclier est prolongé par des appendices.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Un peu plus développé que chez les Calymènes.	Très développé.	Un tiers de la longueur totale de l'animal environ.	Comme ci-contre.	Occupant plus d'un tiers de la longueur totale de l'animal.	N'occupant pas un quart de la longueur totale de l'animal.
	De sa forme.	Très convexe, trilobation très marquée; articulations généralement très distinctes.	Comme ci-contre.	Moins convexe; trilobation moins marquée; articulations très distinctes.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Forme plate, trilobation distincte, articulations très marquées.	Forme plate; trilobation très distincte; articulations très marquées; extrémités des lobes latéraux détachées et de formes ovoïdes plus ou moins arrondies.	N'offrant de traces de trilobation qu'à sa naissance près l'abdomen; articulations nulles.	N'offre plus de traces de trilobation; cependant on remarque, sur le milieu, deux rangées de points, comme dernière trace des articulations, chez certaines espèces seulement.	Forme très plate, trilobation distincte, articulations séparées par un sillon peu profond.	Forme très plate, trilobation très distincte seulement par la saillie que forme le lobe moyen, offrant à peine quelques lignes légères pour indices des articulations.
	Des déformations dont il a été susceptible.	Les mêmes que celles de l'abdomen et du bouclier.	Comme ci-contre.	Moins marquées que celles de l'abdomen.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Moins prononcées que celles de l'abdomen.	Peu sensible.	Bien moins marquées que celles de l'abdomen.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.
Du TEST.	États sous lesquels ils se présentent.	Test formé d'une couche épaisse de fer sulfuré, égale sur toutes les parties du corps; trouvé dans un schiste ardoisier.	Trouvé à l'état de calcaire dans une couche argilo-calcaire.	Formé d'une couche légère de fer sulfuré, plus mince sur l'abdomen; trouvé dans un schiste ardoisier.	Trouvé à l'état de calcaire dans une couche argilo-calcaire.	Recouvert d'une couche mince de fer sulfuré; prolongements mêlés de pyrite; trouvé dans un schiste ardoisier.	Ne présentant jamais de traces de fer sulfuré, bien que trouvé dans les mêmes gisements que ceux qui se présentent à l'état pyriteux.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Ne présentant jamais que le bouclier à l'état de fer sulfuré; trouvé dans un schiste ardoisier.
Fossiles dont l'ensemble des caractères du test et la perfection des organes de la vue prouvent que les animaux qu'ils représentent ont eu une vie et des habitudes actives; ils n'avaient pour les garantir des nombreuses causes de destruction auxquelles ils étaient constamment exposés, que la disposition des articulations de leur test, qui semblent avoir été susceptibles d'une grande résistance (v. pl. III, fig. 4, 5); ils se présentent à l'état de fer sulfuré. (Le fer sulfuré paraît avoir pris la place du calcaire qui entraînait dans la composition du test de ces animaux.)							Les fossiles qui composent ce groupe n'offrent pas un ensemble de caractères qui puisse permettre de les considérer comme aussi élevés sous le point de vue de l'organisation; les articulations dont se compose la partie moyenne de leurs corps ne présentent pas, par la disposition qu'elles affectent, assez de garanties pour avoir pu résister aux nombreuses causes de destruction auxquelles ces animaux étaient exposés; c'est dans l'énorme développement présenté par la tête et le post-abdomen, que l'animal a pu trouver de véritables garanties (v. pl. III, fig. 2); ils ne se rencontrent jamais à l'état de fer sulfuré.			L'état et la disposition que présentent les diverses parties du test de ces fossiles, joints à l'imperfection et peut-être bien à l'absence complète des organes de la vue, nous indiquent suffisamment que leurs habitudes devaient être fort restreintes. Le développement qu'affecte le bouclier, surtout dans ses appendices, en venant protéger l'abdomen, prouve que ce dernier n'avait pas en lui de suffisantes garanties, et, dans le plus grand nombre de cas, on peut regarder le bouclier comme étant la pièce principale sous le rapport de la sécurité (v. pl. III, fig. 1). Au bouclier des <i>Trinucleus</i> près, le test de ces fossiles ne présente jamais de fer sulfuré.		



Des observations que j'ai eu récemment occasion de faire dans la vallée de l'Ognon, vers l'extrémité septentrionale du département de la Haute-Saône, viennent ajouter à la monographie des anciens glaciers vosgiens, et offrent quelque intérêt en ce qu'elles indiquent la limite la plus méridionale connue de ces glaciers.

La rivière d'Ognon court, à son origine, au S.-O. un peu S., à travers une vallée profonde, dont l'existence se rapporte très probablement au système de dislocation de la Côte-d'Or. Lorsqu'on remonte cette vallée pour se rendre dans les Vosges, on rencontre, après avoir traversé le village de Saint-Germain, et à environ 6 kilomètres au N.-E. de la petite ville de Lure, une série de collines formant à travers la vallée une espèce de barrage. Ces collines s'élèvent de 50 à 75 mètres au-dessus du sol de la ville et sont entièrement formées de débris erratiques et de sables amoncelés pêle-mêle, déposés là par un grand glacier qui descendait évidemment du ballon de Servance et s'avancait par la vallée de l'Ognon jusque près de Lure.

En effet, lorsqu'on examine l'immense accumulation de blocs erratiques composant cette moraine terminale, on voit que tous les matériaux qu'elle renferme appartiennent à ce massif de montagnes, que c'est un mélange de fragments de poudingues ou de grès vosgiens, de fragments des roches métamorphiques schistotrappéennes qui constituent en partie les montagnes bordant la vallée jusqu'au-delà du village de Servance, de fragments de prasophyre (ophite, porphyre vert) qui se rencontre plus loin (1);

(1) C'est au surgissement du prasophyre que les modifications subies par les roches avoisinantes paraissent particulièrement se lier, car elles ont acquis une partie de ses caractères extérieurs. On retrouve, en effet, là, une grande partie des phénomènes que M. Boblaye et moi nous avons signalés en Grèce (*Expédition scientifique de Morée, géologie et minéralogie*, t. II, 2^e partie, p. 445). Dans l'une et l'autre localité, de nombreux filons de fer oligiste paraissent avoir été la conséquence du surgissement du prasophyre et avoir contribué, avec cette roche plutonique, aux modifications subies par les terrains sédimentaires environnants. Seulement les phénomènes métamorphiques sont plus prononcés dans les Vosges que dans la Grèce; car plusieurs des roches sédimentaires de cette contrée ont complètement acquis tous les caractères de roches plutoniques, circonstance qui fait que, comme je le disais déjà en 1835 (*Bull.*, 4^{re} série, t. VI, p. 348), *la limite entre les terrains soit pyrogènes, soit entre ceux-ci et les terrains sédimentaires en contact, est d'autant plus difficile à établir que les actions réciproques ont été plus intenses*. En effet, parmi cette nombreuse variété de roches métamorphiques de la vallée de Servance,

et enfin de fragments d'un granite gris rosâtre ressemblant beaucoup à la syénite rose d'Égypte, et dont le gisement se trouve à l'origine de la vallée, vers Château-Lambert. Dans ces blocs de toutes dimensions, dont quelques uns sont anguleux et la plupart arrondis sous forme de galets, beaucoup de ceux-ci présentent encore des stries, signes caractéristiques de leur origine glaciaire.

Ce dépôt morainique, qui paraît avoir été la station la plus avancée du glacier de Servance, s'appuie d'un côté, au S. du hameau de la Goulotte, aux collines de grès bigarré de Saint-Germain, que l'on exploite pour pierre à bâtir; et de l'autre sur les flancs du mont de Vanne, qui termine de ce côté la chaîne des Vosges; les hameaux des Granges-Guénins et des Granges-Brûlées sont construits sur ce dépôt, et celui de Montessaux est placé à l'amont de la moraine et à l'endroit où l'Ognon s'y est ouvert postérieurement un passage.

La plaine située au-delà formait avant cette ouverture un de ces lacs glaciaires, dont M. Le Blanc nous a aussi donné la théorie (1), et qui, à mesure que l'Ognon creusait son lit dans la moraine, se transformait successivement en marais dans lesquels se sont formés les différents dépôts tourbeux qui s'exploitent aujourd'hui sur plusieurs points des environs, et signalés par M. Thirria (2) notamment sur les territoires des communes de Mélisay et de Ternuay.

que j'appelle provisoirement *schisto-trappéennes*, et que les géologues ont classées, les uns, dans les porphyres ou les eurites compactes, les autres, dans les diorites, les trapps, etc., les unes, étant tout à fait passées à la structure lamellaire et même cristalline, sont de véritables porphyres, mais des *porphyres métamorphiques*, sur l'existence desquels j'ai aussi depuis longtemps appelé l'attention des géologues (*Géol. et min. de la Morée*, p. 295, 296 et 299. *Bull. Soc. géol.*, 4^{re} série, t. VI, p. 278 et 313; t. VII, p. 170; et lettre de M. Kéferstein, p. 197; t. VIII, p. 305 et 307; 2^e série, t. I, p. 854, et t. III, p. 329), les autres, celles où l'action métamorphique a été moins intense, mais encore suffisante pour faire disparaître les caractères de roches sédimentaires, et qui devaient naturellement laisser plus d'incertitude, peuvent être rangées dans la classe des *roches d'imbibition*, que je signalais en 1844, au congrès de Chambéry (*Bull.*, 2^e série, t. I, p. 845), et dont j'avais déjà entrevu l'existence en 1829, en parcourant l'île de Tynos, dans l'archipel grec (page 64 de l'ouvrage cité ci-dessus).

(1) *Bulletin de la Société géologique*, 4^{re} série, t. XIV, p. 600.

(2) *Statistique minéralogique et géologique de la Haute-Saône* (p. 33).

Au nord de Montessaux, les villages de Saint-Barthélemy et de Mélisay sont aussi en grande partie bâtis sur une seconde ligne de collines morainiques, et enfin, plus loin encore, entre ces villages et celui de Bellonchamp, mais plus près de celui-ci, on trouve une autre ligne de petites moraines, plus particulièrement composées de débris granitiques et qui font suite à une série de monticules isolés ou pointements, composés de roches métamorphiques, lesquels devaient former autant de petits îlots au milieu du lac auquel la grande moraine de Montessaux servait de barrage. Cette troisième ligne de moraines semble être la dernière station rétrograde du glacier; car au-delà de Bellonchamp et de Ternuay, on ne rencontre plus que des blocs isolés qui paraissent appartenir aux moraines latérales. J'ai rencontré de ces blocs jusqu'au sommet de la montagne, qui renferme les beaux et riches filons de fer oligiste connus sous le nom de *mine de fer de Servance*. Cette montagne s'élève bien à 8 ou 900 mètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que l'altitude du ballon de Servance n'est que de 1,189 mètres.

On a monté, dans ces dernières années, à Servance même, une petite scierie mécanique mue par l'eau et destinée au polissage des belles roches granitiques et porphyriques provenant en grande partie des moraines latérales et que l'on trouve dans les environs en blocs souvent fort volumineux. Parmi ces belles matières dures travaillées et polies dans cet établissement, et dont le prix n'est cependant que de 10 francs par pied carré de surface, le granite et le prasophyre fournissent surtout de très grandes tables d'un fort bel effet. Le prasophyre des Vosges présente donc de l'avantage sur celui de Grèce, qui, beaucoup plus fendillé, ne pouvait guère être employé qu'à la confection de petits objets d'art (1).

Séance du 21 décembre 1846.

PRÉSIDENCE DE M. DE VERNEUIL.

M. Bayle, vice-secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

(1) *Géologie et minéralogie de la Morée*, par MM. Virlet et Boblaye, p. 113.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

FRIGNET (Ernest), docteur ès-sciences, membre de la Société d'histoire naturelle de Strasbourg, 38, passage Sandrié, à Paris, présenté par MM. Walferdin et le vicomte d'Archiac ;

Le baron Gabriel de LATOUR-DU-PIN CHAMBLY, à Nantes, présenté par MM. de Boissy et d'Archiac ;

BONNET, ingénieur des mines à Lisbonne (Portugal), présenté par MM. Cordier et Charles d'Orbigny ;

FEIGNOUX, de Cussey (Allier), présenté par MM. Pomel et Virlet ;

MACLAREN, à Édimbourg, présenté par MM. Martins et Hugard ;

James HALL, à Albany, État de New-York, présenté par MM. Élie de Beaumont et de Verneuil ;

W. REDFIELD, à New-York, Greenwich street, 324, présenté par MM. Élie de Beaumont et de Verneuil ;

Marie ROUAULT, à Rennes (Ille-et-Vilaine), présenté par MM. de Pinteville et de Verneuil.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Ministre de la justice, *Journal des savants*, novembre 1846.

De la part de M. Ach. de Zigno, *Intorno di cenni*, etc. (Observations sur les aperçus du professeur T. A. Catullo sur le système crétacé des Alpes vénitiennes) ; in-8°, 15 pages, Padoue, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, 1846, 2^e semestre, t. XXIII, nos 23—24 ; — table du 1^{er} semestre 1846, t. XXII.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. VI, n° 34, octobre 1846.

L'Institut, 1846, nos 675—676.

The Athenæum, 1846, nos 998—999.

The Mining Journal, 1846, nos 590—591.

The american Journal of science and arts, by Silliman ; ser. 2, n° 5, septembre 1846.

Mémoires de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, 6^e série, t. V, liv. 3—4.

Mémoires présentés à l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg par divers savants; t. V, liv. 1—6; t. VI, liv. 1.

M. le vice-secrétaire lit la lettre suivante de M. de Maissin, capitaine au long cours :

Monsieur le Président,

Je viens vous prier de vouloir bien offrir à la Société géologique quelques échantillons de roches ou débris qui se trouvent communément à la surface du sol, et cela à toutes les hauteurs, depuis le bord de la mer jusqu'aux terres les plus élevées, dans l'île de Borabora, une des îles du groupe des Marquises.

Je regrette infiniment de ne pouvoir joindre à cet envoi une notice plus étendue, mais je n'ai point recueilli ces échantillons moi-même; tout ce que je peux dire, c'est que la personne qui s'est chargée de me les apporter est mon frère, M. E. de Maissin, capitaine de corvette, qui a séjourné plus de deux ans dans ces îles. Il m'a assuré qu'il avait, sur ma demande, fait rechercher par toute l'île, mais toujours à la surface, toutes les pierres qui pouvaient offrir un aspect différent, et qu'il n'avait pu trouver que ce que j'ai l'honneur d'offrir à la Société.

M. le vice-secrétaire lit une lettre de M. Édouard Collomb, sur les *galets striés*.

Wesserling, le 10 décembre 1846.

Dans une note que j'ai envoyée à la fin de novembre à la Société sur quelques faits relatifs aux anciennes moraines des Vosges, je faisais remarquer que, dans quelques uns de ces amas, je n'avais point trouvé de galets striés, et que ce fait négatif pourrait paraître extraordinaire dans nos vallées, où ces galets sont répandus avec autant de profusion. M. Agassiz, qui le premier les a découverts, a donné la description et la loi générale de leur formation; ce n'est que la question de leur distribution dans le terrain erratique dont nous allons nous occuper.

En l'étudiant, soit dans les Vosges, soit en Suisse, j'ai remarqué

que dans certaines vallées, où tous les autres accidents qui caractérisent ce terrain se trouvaient réunis, je ne rencontrais point de galets striés; en poursuivant ces recherches jusqu'au pied des glaciers, j'ai trouvé que parmi les débris minéraux déposés aux abords et sur les flancs de certains d'entre eux je n'en trouvais pas non plus, tandis que dans d'autres vallées et au contact d'autres glaciers, ils étaient fort abondants.

Après un grand nombre d'observations, je suis arrivé à conclure que tous les glaciers ne donnaient pas lieu à la formation de ces galets. Pour que ce phénomène se produise, il faut qu'il existe dans les montagnes qui entourent un glacier plusieurs espèces de roches d'un degré de dureté différent. Ainsi, lorsqu'un glacier est encaissé par des masses purement granitiques ou purement calcaires, il n'y a point de galets striés produits.

Mais, si les roches d'où ils proviennent sont en partie cristallines et en partie sédimentaires, il y a production de raies sur les galets. Le galet de granite, lorsqu'il est charrié par un glacier, et qu'il ne trouve sur son passage que du granite, ou bien le galet de calcaire qui ne rencontre que du calcaire, ne se raieront point.

Ce fait nous explique pourquoi dans quelques vallées des Vosges, comme au pied de certains glaciers, il y a absence complète, et sur d'autres points et aux abords d'autres glaciers, il y a profusion de ces espèces de pierres.

Dans les Vosges, en outre des deux petites moraines dont nous avons parlé (note du mois de novembre), dans plusieurs vallées du versant occidental, où M. Hogard a remarqué et décrit des moraines qui ont un caractère erratique incontestable, il y a absence de galets striés, parce que le massif tout entier qui domine ces vallées est purement granitique. Sur le versant E. de la chaîne, la vallée de Guebwiller, qui prend naissance sur le point le plus élevé des Vosges, le Ballon (1,426 mètres), est barrée, à 5 kilomètres en amont du village de Lautenbach, par une échelle de petites moraines qui ressemblent, sous les rapports de forme et de dimension, aux petites moraines qu'on trouve à quelques centaines de mètres en aval du glacier actuel du Rhône; ces moraines ne contiennent point de galets rayés; on y en chercherait en vain; tous les massifs supérieurs sont formés de grauwacke plus ou moins compacte, qui a subi des actions métamorphiques plus ou moins énergiques, mais qui n'est pas assez dure pour se rayer elle-même par frottement; elle s'use, se polit, mais ne se burine pas; on ne trouve dans ce bassin aucune masse granitique; les filons de quartz y sont fort rares; la roche massive n'apparaît au jour, dans cette

vallée, que sur une ligne située en aval des petites moraines. Lorsque leurs matériaux étaient en mouvement, ils ne rencontraient sur leur chemin que des roches identiques à eux-mêmes; ils n'ont pu se strier.

Par contre, la vallée de Saint-Amarin réunissait toutes les conditions nécessaires pour que le galet rayé s'y soit produit dans les temps erratiques. Les schistes siluriens à pâte fine y sont traversés à chaque instant et pour ainsi dire enchevêtrés dans des masses cristallines de granite, de granite porphyroïde, de syénites, d'eurites, qui sont elles-mêmes coupées par d'innombrables filons où la famille des Silicides se rencontre sous mille formes diverses. On conçoit que de pareils matériaux, lorsqu'ils ont été déplacés et mis en mouvement par la force dynamique d'un glacier, lorsqu'ils étaient empâtés dans sa masse, ou lorsqu'ils ont servi de roulettes sous le glacier, ont dû exercer les uns sur les autres une action érosive qui a donné lieu à ces masses de détritits où les galets rayés sont si abondants.

En Suisse, ces galets sont fort rares parmi les débris du glacier inférieur de l'Aar, parce que la roche en place du bassin est formée de granite, de gneiss et d'une variété de micaschiste fort tendre et friable : ce schiste n'a pas le degré de résistance suffisant pour conserver des empreintes burinées. Ils sont également rares au pied du glacier du Rhône, parce que, dans cette localité, les débris ne sont composés que de roche cristalline trop dure pour se laisser strier. Dans la vallée de Chamounix, les deux glaciers que j'ai plus particulièrement explorés cette année (avec M. Hardouin Michelin), celui des Bossons et celui du Tacconnet, sont fort pauvres en galets striés. Les moraines du glacier des Bossons sont granitiques et gneissiques, et celles du Tacconnet sont formées de schistes talqueux et de schistes chlorités; les conditions nécessaires pour leur production se trouvent ici écartées. D'un autre côté, les débris rejetés par le glacier de Rosenlaui sont riches en galets striés; j'en ai recueilli de beaux exemplaires parmi les matériaux répandus sur le terrain que le glacier avait abandonné pendant le courant de l'été. Ce glacier n'a point de moraines frontales; il est simple, il n'a pas de grands affluents qui lui apportent leur contingent de débris; ils sont accumulés sur ses flancs, et les pics gigantesques qui le dominent, les Wetterhörner, sont précisément placés sur la limite du gneiss et du calcaire (1) : son bassin supérieur présente

(1) Voir la carte géologique du Wetterhorn et des régions environnantes, par M. Desor.

cela de particulier, qu'il offre des alternances de roches cristallines et de roches de sédiment, disposition la plus favorable à la production de nos galets. Ce calcaire a le degré de dureté et de ténacité nécessaire pour recevoir et conserver un burinage fort net; sous ce rapport il a la plus grande analogie avec les schistes argileux des Vosges.

Sans qu'il soit nécessaire de multiplier les exemples, nous pouvons dès à présent conclure des faits qui précèdent, que la présence ou l'absence des galets striés dans le terrain erratique ou dans les débris des glaciers en activité dépend essentiellement de la nature des roches qui forment les bassins supérieurs. Il faut le concours, ou plutôt le contact d'un corps dur contre un corps plus tendre pour que le burinage se produise et se conserve.

M. Rozet communique la note suivante de M. l'abbé Raquin.

Note sur les mines de fer découvertes dans les cantons de Semur-en-Brionnais et de Marcigny (Saône-et-Loire), en 1846, par M. l'abbé Raquin.

On a récemment découvert, dans le canton de Semur et dans celui de Marcigny, des gisements de fer très importants, qui paraissent devoir donner lieu à une exploitation considérable. Lorsque j'ai visité cette localité, il y a environ deux mois, plus de deux cents ouvriers étaient déjà employés à l'extraction du minerai, et le nombre des mineurs s'accroissait chaque jour. Ce gisement m'a paru intéressant sous le rapport géologique; c'est ce qui m'engage à le faire connaître à la Société.

Le pays où se trouve ce minerai est coupé par des vallées assez profondes, qui toutes se dirigent vers le bassin de la Loire. Dans le fond des vallées, la terre végétale repose sur les marnes supérieures du lias, et sur les versants on voit affleurer les bancs du calcaire à entroques qui reposent immédiatement sur ces marnes. Ces deux formations sont les deux formations dominantes du pays où se trouve le minerai. Pour rencontrer les assises moyennes et inférieures du lias, il faut se diriger plus à l'E. Sur tous les plateaux, le calcaire à entroques est recouvert par une couche plus ou moins puissante d'argile de couleur généralement jaunâtre. Dans cette argile se trouvent disséminés, sans aucun ordre apparent, des silex d'un volume quelquefois très considérable. Ces silex occupent surtout la partie supérieure des argiles. Le sol en est généralement recouvert, soit que dans l'origine ils se trouvassent

naturellement à sa surface, soit qu'ils y aient été amenés depuis par les travaux des hommes qui ont défriché ce sol pour le livrer à la culture. Ainsi, à partir de Semur, dans un rayon de 4 à 8 kilomètres, on rencontre une quantité parfois prodigieuse de cailloux anguleux de toute grosseur qui recouvrent la surface du sol. On ne peut supposer que ces cailloux aient été charriés par les eaux et que le terrain où ils se trouvent soit un terrain de transport; car leur forme anguleuse dont les angles sont à peine émoussés ne permet pas d'adopter cette hypothèse. D'ailleurs, j'ai observé plusieurs fois, sur divers points, de ces silex formant de véritables couches, ayant une étendue de plusieurs mètres, et 0,50 centimètres à 1 mètre d'épaisseur. Ils étaient seulement recouverts de quelques pouces de terre végétale. La texture de ces silex est ordinairement compacte; ils présentent cependant quelquefois une texture celluleuse analogue aux meulières des environs de Paris. On en a même exploité, à ma connaissance, pour faire des meules de moulin, qui, il est vrai, étaient d'une qualité bien médiocre. Ces silex sont très souvent colorés en rouge par l'oxyde de fer, ou en jaune par l'hydrate de cet oxyde. Lorsqu'ils sont purs, ils ressemblent assez aux silex de la craie, sauf qu'ils ont toujours une teinte légèrement jaunâtre.

Cette formation argileuse s'étend depuis les environs de Charlieu jusqu'aux environs de Paray, en formant sur les rives droites de la Loire une zone dont la largeur ne dépasse guère 5 à 6 kilomètres. Cette formation argileuse ne présente pas les mêmes caractères sur toute cette étendue. Ce n'est qu'aux environs de Semur, dans un rayon de 7 à 8 kilomètres, que l'on trouve des silex dans le sein de l'argile. A mesure qu'on s'éloigne de ce centre, les silex diminuent et finissent par disparaître. Après avoir dépassé Marcigny, on rencontre une plaine qui se prolonge jusqu'à Paray où l'on ne rencontre plus de silex, ni à la surface du sol ni dans son intérieur.

Un fait digne de remarque, c'est que ces silex ne se trouvent que dans la partie la plus accidentée de la contrée dont je parle.

C'est dans cette formation argilo-siliceuse que se trouve le minerai de fer qu'on exploite. Il se présente en blocs isolés au milieu de l'argile, de la même manière que les silex avec lesquels il se trouve associé. Les deux éléments, la silice et le fer, se sont mélangés dans toute espèce de proportions. Là, le minerai de fer est presque pur; là, au contraire, c'est le silex qui est à peine coloré par la présence du fer. Entre ces deux extrêmes se trouvent tous les états intermédiaires résultant du mélange des deux substances

Le même bloc contient ainsi le minerai à différents degrés de pureté, et l'on est obligé de le casser en petits fragments pour faire le triage. Ce minerai est un oxyde de fer le plus souvent hydraté. Sa cassure n'est point homogène, mais elle présente des lignes qui indiquent de petites couches superposées les unes sur les autres; quelquefois aussi elle est celluleuse. Ce minerai est très estimé, non seulement à cause de sa richesse, mais encore parce que sa gangue étant siliceuse sert de fondant aux minerais calcaires qui sont beaucoup plus communs que les minerais siliceux. Il est expédié au Creuzot ou à Saint-Étienne.

L'extraction facile de ce minerai qui se trouve, pour ainsi dire, à la surface du sol, et la nature siliceuse de sa gangue, qui lui donne de la valeur, en rendent l'exploitation très importante pour le pays où il se trouve. Il y a deux mois, le minerai n'était encore exploité que sur deux points, sur la commune du Lac (canton de Marcigny) et sur celle de Semur, au lieu dit les *Cornus*; mais alors on faisait des fouilles nombreuses sur d'autres points, et quelques unes de ces recherches avaient fait concevoir des espérances fondées de trouver le minerai en assez grande quantité. La présence de ce minerai est indiquée par la couleur rouge des cailloux qui sont à la surface du sol; mais cette couleur n'est pas toujours un indice certain; car il peut arriver que le fer ne se trouve pas en assez grande quantité pour être exploité. L'étendue du terrain où l'on peut faire des recherches avec l'espoir d'arriver à d'heureux résultats comprend plusieurs communes limitrophes, le Lac, Semur, Yguerande, Mailly, Saint-Julien, Ligny, Vauband, Briand, Sarry, Marcigny. Mais les gisements les plus importants paraissent situés sur les communes de Semur et du Lac.

Cette formation argilo-siliceuse, où se trouve le minerai de fer, me paraît être une formation tertiaire, probablement contemporaine des formations lacustres qu'on observe sur les bords de la Loire et que M. Rozet a décrites dans son *Mémoire sur la masse des montagnes qui séparent le cours de la Loire de ceux du Rhône et de la Saône*. Jusqu'à présent on n'a découvert dans ce terrain aucun fossile qui puisse indiquer d'une manière certaine et définitive dans quelles conditions il a été formé. Il n'est pas une dépendance du terrain jurassique sur lequel il repose; car il n'est pas aussi étendu que ce dernier, et il n'y a aucun passage de l'un à l'autre. La ligne de démarcation entre ces deux terrains est toujours parfaitement distincte. L'idée d'un transport n'est pas non plus admissible à cause de la forme des blocs qui ne

présentent aucun caractère des cailloux roulés. La position de ce terrain sur les plateaux les plus élevés et par lambeaux isolés, se trouve au contraire assez en rapport avec les caractères que présentent les terrains lacustres. Il me paraît donc probable que ce dépôt a eu lieu dans des lacs peu profonds qui recouvraient les plateaux où on l'observe maintenant. C'est dans ces lacs que se déposaient les argiles amenées par les cours d'eau qui affluaient des montagnes voisines. Mais d'où sont venus la silice et le fer qui se trouvent en si grande quantité au milieu de ces argiles? Une seule hypothèse me semble expliquer, d'une manière satisfaisante, la présence de ces substances dans les lieux où on les observe, et les diverses circonstances de leur mélange; c'est l'hypothèse de sources siliceuses et ferrugineuses qui seraient venues de l'intérieur et auraient déposé, surtout autour des points où elles jaillissaient, les éléments qu'elles tenaient en dissolution. On conçoit alors comment le minerai de fer se trouve répandu çà et là dans toute la formation argileuse en amas plus ou moins riches. On conçoit aussi que les eaux des lacs où arrivaient ces sources étaient colorées par le fer dans toute leur masse, et qu'ainsi les argiles qui se déposaient dans leur sein ont dû aussi être généralement colorées. Les silex l'ont été aussi, mais moins généralement que les argiles. Ainsi, au milieu d'argiles colorées on trouve des silex qui ne le sont pas ou du moins qui ne le sont qu'à l'extérieur. Cette particularité est probablement un effet de l'attraction moléculaire qui tend à réunir ensemble les molécules homogènes. M. Rozet, dans le *Mémoire* que j'ai cité plus haut, en parlant de la formation des arkoses qu'on observe dans la partie orientale de la contrée dont il est question, a déjà émis l'opinion fondée sur plusieurs observations, que la silice qui sert de ciment aux éléments des arkoses, avait été fournie par des sources venues des profondeurs du sol. L'action de ces sources se serait prolongée pendant toute l'époque de la formation des arkoses, et aurait même continué pendant les premiers temps de la formation du lias, puisque, comme l'a observé M. Rozet, les couches inférieures de ce terrain sont, dans certaines localités, pénétrées de silice; mais ensuite leur action se serait ralentie, ou aurait même cessé complètement pendant le dépôt de la plus grande partie du lias et du calcaire à entroques. La réapparition de ces sources dans les mêmes lieux, après un laps de temps considérable, indique donc quelques bouleversements dans le sol préexistant, bouleversements qui auraient déterminé de nouvelles fissures capables de livrer passage à ces sources. Or, c'est précisément ce qui paraît avoir eu

lieu. J'ai déjà fait la remarque que la contrée où se trouvent les silex et les minerais de fer, est la plus accidentée des terrains stratifiés environnants. Les soulèvements qui ont donné au sol son relief actuel sont postérieurs à la formation du lias et du calcaire à entroques qu'ils ont dérangés de leur position horizontale. Ces mouvements du sol ont été occasionnés par l'éruption des basaltes que j'ai vus perçant les calcaires sur deux points différents, distants l'un de l'autre d'environ 6 kilomètres, l'un sur la commune de Mailly et l'autre sur celle de Briaud.

Ces deux points basaltiques sont dans la direction du N. au S., parallèles au cours de la Loire; c'est précisément la direction des couches calcaires. Autant que l'état de la culture du sol m'a permis de l'observer, ces basaltes formeraient un dike qui aurait traversé les couches calcaires du N. au S., en leur donnant une inclinaison de l'E. à l'O. La réapparition des sources siliceuses accompagnées de sources ferrugineuses coïncide donc avec les phénomènes volcaniques qui ont donné à la contrée sa physionomie actuelle. Cette coïncidence rend donc probable l'opinion que j'ai émise sur l'origine du minerai de fer qu'on trouve dans le pays où est situé le centre de ces éruptions volcaniques. L'absence de la silice et du minerai dans un terrain de même formation, mais dont le dépôt a eu lieu sur un sol plat et horizontal, assez loin du centre des phénomènes ignés, me semble une preuve de plus en faveur de cette hypothèse. S'il en est ainsi, ce serait là un fait nouveau ajouté à tant d'autres qui prouverait le rôle important des sources intérieures dans les formations géologiques.

Après avoir donné lecture de cette note, M. Rozet ajoute qu'il adopte tout à fait la manière de voir de M. Raquin à l'égard de ces dépôts de fragments siliceux avec minerais de fer, bien que, dans son Mémoire sur la masse de montagnes qui sépare la Loire du Rhône et de la Saône, il ait considéré ce terrain comme une masse de transport provenant de la destruction des couches de l'oolite, remplies de productions siliceuses. L'action des sources siliceuses peut certainement s'être continuée à travers tous ces terrains depuis l'époque des arkoses inférieures jusqu'à celle des basaltes, ou bien s'être reproduite à cette époque avec une nouvelle intensité. Il pense que les minerais de fer que l'on exploite sous le lehm de la vallée du Rhin doivent être rangés dans cette même époque géognostique, bien qu'ils soient accompagnés de fragments noduleux de jaspe, renfermant des

fossiles du grès vert, ce qui les avait fait ranger dans cette formation par M. Voltz. Ces fossiles se trouvant là, comme les autres matériaux du terrain de transport, auront été englobés par l'incrustation siliceuse, et cela est d'autant plus probable qu'ils sont eux-mêmes changés en silex. Les roches basaltiques des bords du Rhin, et principalement celles du Kaiserstuhl, ayant fait éruption pendant la formation du lehm, ce phénomène se trouve donc produit ici par les mêmes causes qu'en Bourgogne.

M. Rozet pense qu'il y a un grand nombre de gîtes de minerais de fer, en grains et en rognons, qui appartiennent à cette époque, et que l'on a rapportés à celle du grès vert, etc., à cause des fossiles qui s'y trouvent mêlés, et qu'il regarde comme y ayant été charriés, et englobés ensuite par l'incrustation siliceuse.

M. le vice-secrétaire donne lecture d'un Mémoire de M. Marie Rouault, où l'auteur cherche à démontrer que les proportions différentes du fer sulfuré qu'on observe dans les diverses parties du test des Trilobites de la Bretagne peuvent servir à reconnaître quelles étaient les proportions de carbonate de chaux et de matière animale qui composaient ce test, le fer sulfuré s'étant, suivant lui, substitué à la place du carbonate de chaux. Voici un extrait de ce Mémoire.

Extrait du Mémoire sur les Trilobites du département d'Ille-et-Vilaine, par M. Marie Rouault.

A l'aide des nombreux fossiles que j'ai trouvés dans le terrain paléozoïque des environs de Rennes, j'ai pu reconnaître parmi ceux que j'ai recueillis dans le N. du département un grand nombre des espèces qui caractérisent les terrains du système dévonien; parmi elles se reconnaissent la plupart des espèces trouvées dans l'Eifel en Allemagne, en Belgique, en Normandie et dans l'État de New-York en Amérique. Quant à celles que j'ai trouvées dans la formation schisteuse qui constitue le S. du département, il m'a été également facile de reconnaître que toutes sont propres au système silurien. C'est sur les fossiles de cette dernière formation que j'ai pu, à l'aide des échantillons que j'y ai recueillis, constater un fait sur lequel j'appelle l'attention des savants,

celui de la présence du fer sulfuré, comme constituant le test de certains fossiles, et qui me paraît être le représentant du calcaire qui entraît primitivement dans sa composition. En effet, la constance avec laquelle j'ai remarqué ce fait sur les mêmes individus, jointe à l'étude des caractères que chacun d'eux a pu me fournir, m'ont mis à même d'arriver à des conclusions qui me paraissent fondées. Ces fossiles appartiennent aux deux classes des mollusques et des crustacés; en commençant par les premiers, il me sera facile de trouver parmi les êtres vivants plus de termes de comparaisons, et les conclusions que j'en pourrai tirer me serviront ensuite pour l'étude des crustacés de cette époque, lesquels aujourd'hui n'ont plus de représentants.

DES COQUILLES.

Pour plus de facilité, je vais diviser les coquilles en deux groupes, d'après la constance des caractères qu'elles m'ont offerts. Dans le premier figureront les espèces qui se sont toujours présentées complètement transformées en fer sulfuré et constamment entourées d'une épaisse couche de chaux sulfatée, et qui ne m'ont jamais présenté de déformations; ce sont des Bellérophes, des Évomphales, des Turbos, des Isocardes, des Arches, des Nucules, etc. Les coquilles auxquelles on peut les comparer présentent leur test complètement formé de calcaire; il me paraît donc évident que le fer sulfuré qui constitue le test de ces fossiles est le représentant du calcaire qui formait primitivement ces coquilles. Le deuxième groupe est formé par les coquilles dont le test ne m'a jamais offert dans sa composition que peu ou point de fer sulfuré et jamais de chaux sulfatée; elles m'ont toujours présenté des déformations d'autant plus marquées, que la quantité de fer sulfuré qu'elles m'ont offerte était moindre; ce sont différentes espèces d'Orthis, ainsi que plusieurs espèces d'Encrines qui m'ont offert des caractères identiques sous les rapports de la composition. Or, comme, parmi les coquilles vivantes, celles qui sont flexibles présentent un test dans la composition duquel la quantité de calcaire est d'autant moins grande que la flexibilité dont elles jouissent l'est davantage, et que c'est sur celles qui me paraissent avoir joui d'une plus grande flexibilité et qui par conséquent contenaient moins de calcaire, que je trouve le moins de fer sulfuré, je suis autorisé à penser que la quantité de fer sulfuré qui se rencontre chez ces coquilles est en raison même de la quantité de calcaire qui s'y trouvait primitivement.

DES CRUSTACÉS.

L'étude toute particulière que j'ai faite des organes et des différentes parties du test des Trilobites m'a conduit à conclure que le test, chez certaines espèces, avait dû nécessairement jouir d'une certaine résistance. Or, comme j'ai trouvé dans le test de ces mêmes espèces une quantité de fer sulfuré d'autant plus grande que la partie du test dans laquelle je l'ai rencontré avait présenté plus de résistance aux déformations accidentelles, je suis donc en droit d'établir les mêmes conclusions pour ces fossiles que pour les coquilles, c'est-à-dire que la quantité de fer sulfuré représente la quantité de calcaire qui s'y trouvait primitivement. Le tableau que je joins à cet extrait, comparant à la fois les organes et les caractères que présentent les différentes parties du test de ces fossiles, me semble suffire pour un extrait comme celui-ci, et en conséquence je me bornerai à donner la description d'une seule espèce qui, sous ce rapport, me paraît réunir toutes les conditions nécessaires pour la démonstration des faits que j'ai énoncés.

TRINUCLEUS PONGERARDI

J'ai observé plus de deux mille échantillons appartenant à ce fossile, et comme j'ai reconnu la constance avec laquelle les mêmes principes se rencontraient dans les mêmes organes, eu égard aux conditions dans lesquelles ils se trouvaient, je vais faire connaître le résultat de mes observations; mais je crois devoir auparavant donner quelques détails sur les organes de cet animal.

Du bouclier. — Le bouclier, très développé, est de forme exactement circulaire en avant et limité postérieurement par une ligne presque droite à laquelle viennent aboutir trois lobes lisses qui en occupent le centre, le bouclier étant considéré comme un demi-cercle; le lobe du milieu, plus développé en longueur, est séparé des deux lobes latéraux, sur lesquels on ne voit point de tubercule oculaire, par deux sillons qui se prolongent jusqu'à l'extrémité postérieure du post-abdomen où elles viennent presque se réunir. La partie circulaire qui entoure ces lobes, et que j'appellerai le bourrelet, dépasse et entoure complètement la tête; il est formé d'une double membrane qui, après avoir couvert les lobes de la tête, se sépare, en s'écartant de plus en plus, jusqu'au-delà de la moitié de la largeur de ce bourrelet, et là, recommence à se rapprocher pour venir se réunir et former le bord antérieur et circulaire

du bouclier. Cette partie qui entoure la tête, et dont la coupe rappelle celle d'une lentille bi-convexe, présente nécessairement deux faces à peu près semblables, lesquelles sont couvertes, sur toute leur étendue, par des points renfoncés, formant six rangées circulaires parallèles au bord extérieur, et dont les quatre plus voisines de ce dernier se maintiennent sur toute la partie circulaire du bourrelet, tandis que les deux autres ne s'aperçoivent que sur les côtés du bouclier seulement. Tous les points renfoncés de l'une des faces correspondent exactement avec ceux de l'autre face (chacun de ces points étant formé par un prolongement circulaire du test) et les points d'une face se dirigeant vers les points de l'autre face et se réunissant ensemble, il en résulte autant de perforations à travers le bourrelet qu'il y a de points, et il n'y en a pas moins de deux cents. Chacun de ces petits tuyaux résultant de la réunion de deux points renfoncés rappelle par sa forme autant de petits sabliers, et le bourrelet ressemble à un réseau dont chaque maille serait représentée par autant de petits entonnoirs plongeant dans le bouclier. Quant à l'intérieur de ce bourrelet, il a été, je crois, complètement vide, et chacun des petits tubes qui le traversaient d'une face à l'autre, jouant le rôle de piliers, maintenaient constamment la forme renflée de cet organe qui jouait très probablement le rôle de flotteur. Chacun des angles postérieurs de ce bouclier se prolonge en un long appendice, lequel dépasse beaucoup l'extrémité du post-abdomen; leur forme très effilée et légèrement arquée en dedans, vers l'extrémité seulement, est quadrangulaire, et chacun des angles est la continuité du bord circulaire antérieur du bouclier. L'angle intérieur dérive du bord postérieur, tandis que les deux autres prennent naissance à la saillie que forme la membrane entre la première et la deuxième rangée de points circulaires; cette saillie est plus sensible, même à la face inférieure. Ces appendices paraissent avoir été, de même que le bourrelet, creux dans toute leur longueur. Ces appendices offrent, en outre, un caractère qui, je crois, n'a encore été observé sur aucune autre espèce, et qui mérite de fixer l'attention des savants : celui de présenter, dans un grand nombre de cas, ses appendices bifurqués; je dis dans un grand nombre de cas, parce que c'est dans la proportion de deux sur cinq. Ce caractère, qui d'ailleurs se remarque sur des individus de tout âge, se présente indifféremment sur l'un et sur l'autre des appendices, quelquefois sur les deux à la fois; on le voit prendre naissance tantôt près de l'origine, tantôt au milieu et même vers l'extrémité des appendices, mais le plus souvent

vers les deux tiers de leur longueur. La direction des deux parties qui en résulte n'est pas plus constante que leur point de départ, elles se présentent parfois également déviées de la direction normale qu'a suivie jusque là l'appendice; d'autres fois il n'y en a qu'une de déviée, et alors c'est le plus souvent la branche intérieure.

De l'abdomen et du post-abdomen. — Ces deux parties de l'animal ne se trouvent nullement en rapport avec l'organe que je viens de décrire; car, si pour couvrir le bouclier d'un individu adulte la moitié d'une pièce de cinq francs suffirait à peine, la moitié d'une pièce de cinq centimes serait plus que suffisante pour couvrir l'abdomen et le post-abdomen réunis. Le premier de ces organes, dont la largeur égale au moins trois fois la longueur, est, comme chez tous les Trilobites, divisé longitudinalement en trois lobes, et le lobe moyen ne présente en largeur que la moitié de celle des lobes latéraux. Cet abdomen est divisé latéralement en six articulations qui présentent sur les lobes latéraux, d'une manière bien nette, le caractère désigné sous le nom de bifurcation. Le post-abdomen, dont la largeur égale au moins quatre fois la longueur, est formé d'une seule pièce, divisée, en apparence seulement, en trois lobes par le prolongement des deux sillons qui, après avoir divisé la tête et l'abdomen, viennent presque se réunir à l'extrémité postérieure du post-abdomen. La partie moyenne de ce dernier, plus saillante que les deux latérales qui sont complètement aplaties, laisse apercevoir sur ses deux versants, près des sillons, quelques traces peu distinctes d'articulations. La forme de cet organe est telle que la ligne qui le limite à l'extérieur ressemble à une accolade très ouverte. On sait que la plupart des Trilobites jouissent de la faculté de s'enrouler à la manière des Cloportes; les nombreux échantillons que j'ai vus de Trilobites à cet état, appartenant à différents genres, m'ont fait reconnaître que presque toutes les espèces possédaient plus ou moins cette faculté, mais qu'aucune d'elles ne pouvait exécuter ce mouvement d'une manière aussi complète que l'espèce ici décrite. Nous avons déjà remarqué que la tête de l'animal se trouvait comme encadrée dans une partie très développée du bouclier, que j'ai appelée bourrelet; or, comme l'abdomen se trouve tout au plus proportionné avec la tête, non compris le bourrelet, et que le post-abdomen présente des proportions encore moindres, voilà ce qui arrivait quand l'animal s'enroulait. D'abord le post-abdomen venait s'appliquer sur l'abdomen, qui, à son tour, venait s'appliquer sous la tête de manière que le post-abdomen se trouvait entre la tête et l'abdomen; l'animal, par conséquent, se trouvait plié trois fois sur lui-même, de

sorte que , vu en dessus , il n'offrait de visible que les lobes de la tête entourée du bourrelet , et que , vu en dessous , il ne montrait que l'abdomen entouré du même bourrelet ; le post-abdomen se trouvant constamment caché au centre.

Maintenant , je vais faire connaître dans quel état et dans quelles conditions j'ai trouvé les différents organes de ce fossile , et, je le répète , ce n'est qu'après un examen fait sur plus de deux mille échantillons que j'ai établi mes conclusions.

Du bouclier. — Je l'ai toujours trouvé en fer sulfuré très pur et constamment recouvert d'une couche de chaux sulfatée ; mais ce dernier minéral se trouve toujours dans des proportions différentes suivant les parties qu'il recouvre , et j'ai remarqué cette différence sur tous les échantillons que j'ai été à même d'examiner : ainsi les appendices ou prolongements des angles postérieurs m'ont toujours présenté une quantité plus grande de fer sulfuré et de chaux sulfatée que le bourrelet, qui, à son tour , m'en a toujours offert davantage que les lobes.

De l'abdomen et du post-abdomen. — Quant à l'abdomen et au post-abdomen, lorsque l'animal est redressé, ils ne m'ont présenté de fer sulfuré ni de chaux sulfatée que dans un seul cas ; mais j'ai pu reconnaître dans ce cas qu'une partie du bouclier se trouvait reployée en dessous et que l'un des appendices longeait l'abdomen dans toute sa longueur. Ce fait me paraît d'une haute importance , par cela même qu'il vient appuyer les conclusions que je vais établir. Sur plus de cinquante échantillons que je possède, présentant l'abdomen et le post-abdomen enroulés, tous, sans exception, se présentent à l'état de fer sulfuré et couverts d'une légère couche de chaux sulfatée.

Après avoir fait connaître à quels états se présentent les différentes parties de cet animal, je vais dire maintenant quelles étaient les différentes modifications que chacune d'elles a pu subir dans sa forme.

Du bouclier. — C'est bien certainement dans cette partie de l'animal que vont se rencontrer les caractères extrêmes. En effet , dans tous les Trilobites que j'ai observés, je n'ai jamais vu d'organe aussi constant que les appendices des angles postérieurs de ce bouclier, qui présentent toujours la même direction. Quand une force les a obligés à se dévier, il m'a toujours été facile de reconnaître qu'à chaque endroit où il y a eu flexion, il y a eu en même temps rupture. Les caractères du bourrelet sont sensiblement différents ; il a pu presque impunément être soumis à toutes espèces de modifications sans offrir de résistance , excepté dans

un très petit nombre de cas , comme celui , par exemple , où une force latérale tendait à en diminuer le diamètre par un rapprochement des deux côtés. Je n'ai jamais rencontré de bouclier ainsi modifié sans que le bourrelet se soit présenté rompu vers son milieu ou à peu près , et toujours j'ai remarqué que l'endroit de la cassure le plus net était près du bord extérieur , tandis que , près des lobes , la cassure présente quelque chose de déchiré.

Des lobes. — Les caractères que cette partie du bouclier présente sont diamétralement opposés à ceux que présentent les appendices ; car si ces derniers n'ont pu subir aucune espèce de déformation , il n'en est pas , au contraire , que n'aient subie les lobes , de telle sorte qu'il ne m'a pas été possible de rencontrer deux échantillons dont les lobes eussent exactement le même aspect. Ces déformations démontrent que ces lobes jouissaient de la plus grande flexibilité , et que la membrane qui les formait était assez tenace pour résister à toutes les forces qui se sont exercées sur elle.

De l'abdomen et du post-abdomen. — Ces deux parties de l'animal présentent des cas de modification inégale : l'abdomen est ordinairement plus déformé que le post-abdomen , ce qui est dû , je crois , à ce que ce dernier était plus épais ; car ces deux parties du corps me semblent avoir été de même nature.

RÉSUMÉ.

Après avoir reconnu de la manière la plus évidente que les appendices ou prolongements des angles du bouclier avaient été d'une composition telle , qu'ils n'avaient pu se prêter à aucune modification dans leur forme , et qu'ils se présentaient toujours à l'état de fer sulfuré et constamment entourés d'une épaisse couche de chaux sulfatée ; après avoir démontré que tous ces caractères sont exactement les mêmes que ceux que m'ont présentés les coquilles du premier groupe , dont le test était certainement de nature calcaire ; après avoir enfin fait observer que les coquilles du second groupe présentaient d'autant moins de fer sulfuré qu'elles paraissent avoir été plus flexibles , je me crois donc suffisamment autorisé à pouvoir conclure que , soit pour les différentes coquilles , soit pour les appendices de ce fossile , la quantité de calcaire qui entrait dans leur composition est justement représentée par la quantité de fer sulfuré qui s'y trouve. Quant au bourrelet , bien que , comme les appendices , il se présente constamment à l'état de fer sulfuré , et toujours recouvert d'une couche de chaux sulfatée , cependant , comme il a pu subir un grand nombre de déformations , sans

toutefois s'être prêté à toutes celles auxquelles il a été soumis, il y a lieu de supposer qu'il devait contenir une certaine quantité du principe solidifiant, c'est-à-dire du calcaire. Cette matière était probablement inégalement répartie, puisque la résistance qu'a opposée le bourrelet n'était pas égale partout, et que ce n'est que sur le bord circulaire extérieur que la cassure a pu s'effectuer d'une manière un peu nette, tandis que cette cassure est d'autant plus irrégulière qu'on s'approche des lobes. Quant à ces derniers, ils m'ont toujours offert les déformations plus variées, sans qu'il m'ait été possible de reconnaître qu'ils se soient jamais rompus ni même déchirés. J'en conclus donc que le bourrelet et les lobes étaient formés d'une substance cornée d'une flexibilité et en même temps d'une ténacité extrêmes, laquelle substance contenait du calcaire, dont la quantité la plus abondante se trouvait le long du bord extérieur du bourrelet, et diminuait de plus en plus en s'approchant vers les lobes où il ne s'en trouvait plus. Quant à l'abdomen et au post-abdomen, comme lorsqu'ils ne sont pas enroulés sur eux-mêmes, ils ne présentent pas de fer sulfuré, je suis porté à croire qu'ils ne contenaient pas de calcaire. Actuellement que je viens de poser en principe que le fer sulfuré est le représentant du calcaire qui se trouvait primitivement dans le test de ces fossiles, voilà comment je m'explique la transformation qui a pu s'effectuer. Les molécules minérales qui entrent dans la composition des matières organiques se trouvent dans un état où les affinités chimiques qu'elles peuvent avoir sont complètement neutralisées, état dans lequel elles se sont maintenues tant que l'animal a vécu. Mais dès que la cause qui les a réunies aura disparu, alors les affinités qu'elles ont, soit entre elles, soit avec d'autres principes, agiront d'une manière plus ou moins simultanée, et la désorganisation de la matière organique en sera le résultat plus ou moins immédiat, et il ne restera plus, dans le plus grand nombre des cas, que la forme du corps. Je me contenterai de citer un seul fait, parce qu'il présente quelques analogies avec ce qui a dû se passer chez les fossiles que j'étudie. J'ai remarqué ce fait en 1836 sur un os provenant d'un incendie qui eut lieu à Rennes en 1720 : après l'incendie, on avait rempli des douves qui se trouvaient sur le bord de la Vilaine avec les décombres qui en provenaient ; là se trouvaient entassés des débris de toutes sortes, des os, des ferrailles, du cuivre, etc., et, en 1836, pour la reconstruction d'un pont, on mit à découvert beaucoup de ces objets. Tous les os se trouvaient déjà pénétrés d'oxyde de fer et de cuivre, dont la couleur vert-bleuâtre s'approchait parfois de la turquoise ; parmi les

nombreux échantillons que je ramassai, l'un d'eux était couvert de phosphate de fer pulvérulent, et que je brisai : il me présenta à la cassure des taches bleues, où la structure organique avait fait place à une texture cristalline saccharoïde ; je reconnus en même temps que la cavité médullaire était tapissée dans différents endroits par des cristaux que je reconnus pour être de la vivianite, tandis que de l'autre côté de la rivière, dans une argile d'alluvion, je trouvai des débris et des fruits de coudrier complètement transformés en la même substance, mais à l'état pulvérulent. Or, voilà ce qui s'est passé : les os étant formés en grande partie de phosphate de chaux, l'acide phosphorique ayant plus d'affinité pour l'oxyde de fer que pour la chaux, en présence les uns des autres, ils se sont combinés, et il en est résulté du phosphate de fer. Mais si, au lieu d'un phosphate de chaux, on avait eu affaire à un carbonate de chaux, il en serait résulté un carbonate de fer : c'est justement ce qui a dû arriver dans le cas où se présentent les fossiles que j'étudie ; il est même arrivé quelque chose de plus, car l'acide carbonique ayant plus d'affinité pour l'oxyde de fer que pour la chaux, ce dernier a été mis en liberté pour être remplacé par le fer ; celui-ci, à son tour, ayant plus d'affinité pour le soufre qui se trouvait en présence à l'état d'acide sulfurique que pour l'acide carbonique, il est résulté que ce dernier, à son tour, a été mis en liberté pour faire place au soufre. L'acide sulfurique se trouvant en excès, s'est combiné avec l'oxyde de calcium, qui avait tout d'abord été mis en liberté, pour former le sulfate de chaux qui maintenant enveloppe tous les fossiles dans la composition desquels il entrait ; l'abondance de ce dernier autorise à conclure que les fossiles, ou simplement la partie du fossile sur lequel il se trouve était plus riche en calcaire. En effet, c'est aussi sur les coquilles du premier groupe que je l'ai observé en plus grande abondance ; ensuite, ce sont les appendices ou prolongements des angles postérieurs du bouclier des *Trinucleus* qui m'en ont offert le plus ; en troisième ordre se présentent les bourrelets ; il s'en trouve bien aussi sur les autres parties du même animal quand elles sont transformées en fer sulfuré, mais c'est en très petite quantité, ce qui, du reste, prouve que l'oxyde de calcium avait été mis en liberté, puisqu'il s'en trouve un peu de dispersé ; mais la plus grande quantité se retrouve dans le voisinage même de la partie qu'il occupait. Quant à la transformation en fer sulfuré des parties de l'animal qui ne contenaient pas de calcaire dans leur composition, voici comment je me l'explique. Dès qu'un corps est en voie de se décomposer par les affinités qu'ont

ses principes constituants pour d'autres dont les molécules sont dispersées dans le milieu environnant, l'attraction, une fois déterminée, se continue sur toutes les molécules jusqu'à une certaine distance, et tant qu'elles trouveront à se placer en se juxtaposant, elles afflueront même après la complète transformation du corps qui en aura déterminé l'attraction. Tous les corps organiques en voie de se décomposer qui se trouveront en contact avec celui-ci subiront la même conséquence, et se trouveront bientôt transformés de la même manière que s'ils avaient joui des mêmes affinités, et c'est, en effet, ce qu'ont éprouvé les lobes de la tête, l'abdomen et le post-abdomen, quand ils étaient enroulés ou tout simplement en contact; alors ils se trouvaient en quelque sorte au centre d'un cercle d'attraction dont ils ne pouvaient manquer de subir les effets; tandis que, l'abdomen étant redressé, comme il ne tenait à la tête que par une membrane très mince, toute communication a cessé d'exister entre ces deux parties, et l'abdomen, qui par lui-même n'était pas de nature à subir les mêmes attractions que le houclier, n'a pas été transformé en fer sulfuré.

Substances minérales rappelant peu ou point des corps organiques.

Dans les mêmes gisements, j'ai rencontré un grand nombre de corps qui, par leur aspect et les caractères qu'ils m'ont offerts, ont appartenu à des êtres organisés; mais le trop petit nombre de caractères qu'ils m'ont présenté ne m'a pas permis de pouvoir les déterminer; cependant, à l'aide des conclusions que je viens d'exposer, j'ai déjà pu reconnaître les classes auxquelles ils doivent avoir appartenu. Avec les fossiles dont je viens de m'occuper, et ces restes qui ne rappellent presque plus rien du règne organique, se trouvent aussi des masses amorphes de fer sulfuré, recouvertes à *Poligné* de chaux sulfatée. Or, comme j'ai trouvé plusieurs coquilles qui, à cause de l'abondance de fer sulfuré qui les recouvrait, pouvaient à peine être reconnues pour des corps organisés, on peut concevoir que, dans le cas où le fer sulfuré se fût trouvé un peu plus abondant, elles en auraient été complètement recouvertes, et n'offriraient plus maintenant qu'une masse informe; ce qui est bien certainement arrivé pour un grand nombre de cas; et il a suffi que plusieurs coquilles ou autres substances calcaires se soient trouvées dans le voisinage les uns des autres, pour que l'attraction moléculaire soit devenue plus puissante et ait pu donner naissance à ces masses amorphes que l'on rencontre si abondamment et qui n'ont pu se former qu'autour d'un centre

TABLEAU COMPARÉ

DES CARACTÈRES PRINCIPAUX DES GENRES DE **TRIOBITES** TROUVÉS DANS LE DÉPARTEMENT D'ILLE-ET-VILAINE. — PAR M. MARIE ROUAULT.

		CALYMÈNE.	PROETUS.	PHACOPS.	CRYPTHOEUS.	POLYÈRES.	PRIONOCHEILUS.	CHEIRURUS.	ILLOENUS.	NILLOEUS.	OGYGIE.	TRINUCLEUS.
Du BOUCHIER considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	N'occupant que le quart au plus de la longueur totale de l'animal; égal en largeur à l'abdomen.	Comme ci-contre.	Plus d'un quart de la longueur totale de l'animal; un peu plus large que l'abdomen.	Comme ci-contre.	Paraissant être dans les mêmes proportions que chez les Phacops.	Près d'un tiers de la longueur totale; un peu plus large encore que chez les Phacops.	Probablement un tiers de la longueur totale; très développé en largeur.	Un tiers au moins de la longueur totale; plus large que l'abdomen, forme presque globuleuse.	Comme ci-contre.	De forme elliptique, occupant plus d'un tiers de la longueur totale; plus large d'un tiers au moins que l'abdomen.	De forme circulaire, occupant plus de la moitié de la longueur totale de l'animal; présentant en largeur deux fois celle de l'abdomen.
	Des angles postérieurs.	De forme plus ou moins arrondie.	De forme anguleuse sans prolongement.	Se prolongeant un peu chez quelques espèces.	Se prolongeant un peu comme chez certaines espèces de Phacops.	Un peu plus prolongé que chez les Phacops.	Comme ci-contre.	De forme arrondie.	Complètement nuls.	Comme ci-contre.	Se prolongeant à un tel point que, chez quelques espèces, ils dépassent parfois la longueur de l'abdomen.	Se prolongeant de telle sorte qu'ils dépassent de beaucoup la longueur totale du corps, et se bifurquant dans certains cas.
	Des organes de la vue.	Yeux lisses, petits, de forme arrondie.	Comme ci-contre.	Yeux à facettes sur un tubercule.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Inconnu.	Yeux lisses, volumineux, de forme arrondie.	Yeux lisses, volumineux, formés d'un cône tronqué obliquement près de sa base.	Yeux lisses, volumineux, formés d'un cône tronqué obliquement, plus près encore de la base de sorte que le cône n'est plus qu'une ligne saillante circulaire.	Yeux représentés par une ligne plus ou moins circulaire, mais jamais complètement, laquelle n'a plus rien qui rappelle la corne; la forme de cet organe prend de plus en plus celle d'un lobe.	Yeux remplacés par des lobes, lesquels ne rappellent plus rien des organes de la vue.
	De sa résistance aux déformations accidentelles.	Ordinairement pas plus déformé que l'abdomen.	Comme ci-contre.	Moins déformé que l'abdomen, surtout chez les espèces dont le bouchier porte des appendices.	Id. que ceux qui ont des appendices au bouchier.	Peu déformé.	Moins susceptible que l'abdomen de se laisser déformer.	Peu déformé; l'abdomen étant détruit, on est porté à croire qu'il offrait peu de résistance aux actions extérieures.	Moins susceptible que l'abdomen de se laisser déformer.	Comme ci-contre.	Beaucoup moins susceptible que l'abdomen d'être déformé par des causes accidentelles.	Déformation très limitée et même nulle dans certaines parties, contrastant avec l'abdomen qui paraît avoir été susceptible de peu de résistance.
De l'ABDOMEN considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	Constituant la plus grande partie de la longueur totale de l'animal.	Comme ci-contre.	Dépassant peu la longueur du bouchier.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Un peu plus d'un tiers de la longueur totale de l'animal.	Inconnu.	Formant environ un tiers de la longueur de l'animal.	Comme ci-contre.	Moins d'un tiers de la longueur totale.	Ne formant à peine qu'un quart de la longueur totale de l'animal.
	Du nombre des articulations qui le composent et de leurs formes.	Composé de 15 articulations au moins, dont la forme est ronde et très arquée.	De 10 articulations de forme ronde et très arquée.	De 11 articulations moins rondes et très arquées, surtout chez les espèces dont le bouchier est appendiculaire.	De 11 articulations moins rondes et moins arquées, comme chez les Phacops.	Articulations dont le nombre et la forme sont inconnus: prolongements sub-cylindriques.	Articulations presque plates, peu arquées.	Inconnu.	De 10 articulations très plates et très peu arquées, au lobe moyen seulement.	De 8 articulations très plates et peu arquées, seulement au lobe moyen.	De 8 articulations très plates, bien peu arquées.	De 6 articulations extrêmement plates, peu arquées, au lobe moyen seulement.
Du POST-ABDOMEN considéré sous les rapports	De ses dimensions relatives.	N'occupant guère que le cinquième de la longueur totale de l'animal, et ne se distinguant pas de l'abdomen chez certaines espèces.	Comme ci-contre.	Occupant un tiers de la longueur totale, surtout chez ceux dont le bouchier est prolongé par des appendices.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Un peu plus développé que chez les Calymènes.	Très développé.	Un tiers de la longueur totale de l'animal environ.	Comme ci-contre.	Occupant plus d'un tiers de la longueur totale de l'animal.	N'occupant pas un quart de la longueur totale de l'animal.
	De sa forme.	Très convexe, trilobation très marquée; articulations généralement très distinctes.	Comme ci-contre.	Moins convexe; trilobation moins marquée; articulations très distinctes.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Forme plate, trilobation distincte, articulations très marquées.	Forme plate; trilobation très distincte; articulations très marquées; extrémités des lobes latéraux détachées et de formes ovoïdes plus ou moins arrondies.	N'offrant de traces de trilobation qu'à sa naissance près l'abdomen; articulations nulles.	N'offre plus de traces de trilobation; cependant on remarque, sur le milieu, deux rangées de points, comme dernière trace des articulations, chez certaines espèces seulement.	Forme très plate, trilobation distincte, articulations séparées par un sillon peu profond.	Forme très plate, trilobation très distincte seulement par la saillie que forme le lobe moyen, offrant à peine quelques lignes légères pour indices des articulations.
	Des déformations dont il a été susceptible.	Les mêmes que celles de l'abdomen et du bouchier.	Comme ci-contre.	Moins marquées que celles de l'abdomen.	Comme ci-contre.	Inconnu.	Moins prononcées que celles de l'abdomen.	Peu sensible.	Bien moins marquées que celles de l'abdomen.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.
Du TEST.	États sous lesquels ils se présentent.	Test formé d'une couche épaisse de fer sulfuré, égale sur toutes les parties du corps; trouvé dans un schiste ardoisier.	Trouvé à l'état de calcaire dans une couche argilo-calcaire.	Formé d'une couche légère de fer sulfuré, plus mince sur l'abdomen; trouvé dans un schiste ardoisier.	Trouvé à l'état de calcaire dans une couche argilo-calcaire.	Recouvert d'une couche mince de fer sulfuré; prolongements mêlés de pyrite; trouvé dans un schiste ardoisier.	Ne présentant jamais de traces de fer sulfuré, bien que trouvé dans les mêmes gisements que ceux qui se présentent à l'état pyriteux.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Comme ci-contre.	Ne présentant jamais que le bouchier à l'état de fer sulfuré; trouvé dans un schiste ardoisier.
Fossiles dont l'ensemble des caractères du test et la perfection des organes de la vue prouvent que les animaux qu'ils représentent ont eu une vie et des habitudes actives; ils n'avaient pour les garantir des nombreuses causes de destruction auxquelles ils étaient constamment exposés, que la disposition des articulations de leur test, qui semblent avoir été susceptibles d'une grande résistance (v. pl. III, fig. 4, 5); ils se présentent à l'état de fer sulfuré, (le fer sulfuré paraît avoir pris la place du calcaire qui entrait dans la composition du test de ces animaux.)												
Les fossiles qui composent ce groupe n'offrent pas un ensemble de caractères qui puisse permettre de les considérer comme aussi élevés sous le point de vue de l'organisation; les articulations dont se compose la partie moyenne de leurs corps ne présentent pas, par la disposition qu'elles affectent, assez de garanties pour avoir pu résister aux nombreuses causes de destruction auxquelles ces animaux étaient exposés; c'est dans l'énorme développement présente par la tête et le post-abdomen, que l'animal a pu trouver de véritables garanties (v. pl. III, fig. 2); ils ne se rencontrent jamais à l'état de fer sulfuré.												
L'état et la disposition que présentent les diverses parties du test de ces fossiles, joints à l'imperfection et peut-être bien à l'absence complète des organes de la vue, nous indiquent suffisamment que leurs habitudes devaient être fort rostreintes. Le développement qu'affecte le bouchier, surtout dans ses appendices, en venant protéger l'abdomen, prouve que ce dernier n'avait pas en lui de suffisantes garanties, et, dans le plus grand nombre de cas, on peut regarder le bouchier comme étant la pièce principale sous le rapport de la sécurité (v. pl. III, fig. 1). Au bouchier des <i>Trinucleus</i> près, le test de ces fossiles ne présente jamais de fer sulfuré.												



d'attraction. La constance avec laquelle celles de *Poligné* se présentent toujours , entourées d'une forte couche de chaux sulfatée , comme tous les fossiles dans la composition desquels il entrait du calcaire, prouve bien évidemment que là aussi il y a eu des corps organisés (1).

M. Delanoue demande à M. Rouault si sa théorie est relative au cas particulier des *Trilobites* de la Bretagne, ou s'il prétend la généraliser aux autres fossiles qui présentent des épigénies analogues.

M. Rouault répond qu'il n'a observé encore que la Bretagne, mais que les fossiles qu'il a eu occasion de voir dans les collections lui donnent lieu de penser que ses idées sont applicables à toutes les épigénies semblables.

(1) Le schiste de Poligné est exploité dans le voisinage d'une faille , dont la direction est indiquée par le lit même de la rivière le Samnon, à peu près de l'E. à l'O., et dont l'énergique action se manifeste par l'inclinaison constante que présentent les couches d'une extrémité à l'autre de cette rivière, et par les modifications apportées aux roches sur différents points, notamment à Poligné. L'état de modification que présentent les roches de cette localité est tellement caractérisé, qu'il a fait dire à plusieurs personnes qu'il y avait eu là un volcan, tandis que d'autres ont avancé que leur état était dû à l'inflammation des pyrites qui sont très abondantes dans ces schistes. Je ne partage aucune de ces opinions; le phénomène d'inflammation, produit par la présence des pyrites se manifeste dans les houillères là où il peut se trouver à la fois dégagement d'hydrogène carboné et production de chaleur par la décomposition du fer sulfuré. Mais dans le schiste ardoisier où le fer sulfuré se trouve à l'abri du contact de l'air et de l'humidité, sans le concours desquels ce minéral ne peut être altéré, là où le combustible manque en même temps, on ne peut expliquer ainsi la production de la chaleur qui a modifié la roche elle-même et dont l'intensité était bien certainement supérieure à 3,000 degrés; fait qui est démontré par la nature même des roches modifiées qui s'y rencontrent. Ces conséquences me portent à conclure que cette hypothèse n'est pas plus fondée que la supposition d'un volcan. L'altération des roches de Poligné n'est due, ce me semble, qu'à ce qu'elles se trouvent sur l'emplacement d'une faille, dont la date me paraît appartenir aux dernières révolutions du globe.

Dans un Mémoire que j'ai le projet de publier très prochainement sur les roches des environs de Rennes, je compte m'étendre plus longuement sur ce sujet et faire connaître les différentes roches que j'y aurai reconnues, de même que celles d'autres points qui ne me paraissent pas suffisamment expliquées, et enfin d'autres qui, je crois, n'ont pas encore été observées.

M. de Verneuil communique à la Société le catalogue suivant des fossiles trouvés en Bretagne par M. Marie Rouault :

Catalogue des fossiles du terrain paléozoïque des environs de Rennes.

Trilobites.

Genres	Espèces.	Localités.
CALYMENE. . . .	1. <i>Blumenbachi</i> (Brongniart).	La Couyère.
. . . .	2. <i>Tristani</i> (Brongniart).	La Couyère, Angers, Bain, Vitré, la Hu- naudière, Caro (Morbihan).
. . . .	3. <i>Tournemini</i> (Rouault), cette espèce a quelque rapport avec la <i>Calym. Fis- cheri</i> (Eichw.) par la brièveté du lobe médian du post-abdomen qui ne s'étend pas jusqu'à l'extrémité de celui-ci; elle n'a en tout, abdomen et post-abdomen compris, que 15 articulations, au lieu de 23; dans l'une comme dans l'autre, l'abdomen et le post-abdomen ne se distinguent pas l'un de l'autre. . . .	La Couyère, Angers, Vitré.
PROETUS. . . .	4. <i>Cuvieri</i> (<i>Calymena concinna</i> Dalman).	Gahard.
PHACOPS. . . .	5. <i>Macrophthalmus</i> (Brongniart), sp. . . .	Gahard.
. . . .	6. <i>Dawningia</i> (Murchison), sp. . . .	La Couyère, Bain, Angers, Vitré, la Hu- naudière.
. . . .	7. <i>Longicaudatus</i> (Murchison), sp. La réticulation des yeux, dans cette es- pèce, offre une disposition nouvelle. (Voir l'explication de la planche). . . .	Poligné, Bain, Bourg - des- Comtes.
. . . .	8. <i>Dujardini</i> (Rouault), espèce voisine du <i>Phacops Murchisoni</i> (Portl.); elle n'a qu'un sillon transverse sur le lobe moyen de la tête, lequel sillon est à la hauteur des yeux; la tête se ter- mine en avant par une petite pointe en forme de corne.	Poligné.
CRYPHEUS. . . .	9. <i>Calliteles</i> (Green)	Gahard.
POLYERES. . . .	10. <i>Dufrenoyi</i> (Rouault), se distingue des genres connus par des appendices subcylindriques, déliés, libres, et longs de 6 à 7 centimètres, qui font suite aux articulations latérales de l'abdo- men.	Poligné.
PRIONOCHEILUS. . . .	11. <i>Verneuli</i> (Rouault), se distingue des genres connus par la réunion des quatre caractères suivants: 1° la lèvre est garnie d'une série d'appendices courts en forme de dents dont la pointe est tournée en dedans; 2° le lobe mé- dian de la tête se rétrécit d'arrière	

Genres.	Espèces.	Localités.
	en avant, et est divisé de chaque côté par deux sillons formant deux tubercules, dont les inférieurs sont subtriangulaires; 3° les deux lobes latéraux se réunissent et forment un large limbe en avant du lobe médian; 4° les articulations des lobes latéraux du post-abdomen sont divisés par un sillon à peine sensible. L'abdomen est formé de dix articulations.	Poligné.
CHEIRURUS. 12.	<i>claviger</i> (Beyrich).	Vitré.
. 13.	<i>Durocheri</i> (Rouault), petite espèce; diffère de la précédente en ce qu'elle présente un nombre égal d'articulations sur les trois lobes du post-abdomen; les articulations des lobes latéraux sont globuliformes.	Vitré.
ILLOENUS. 14.	<i>crassicauda</i> (Dalman)	La Hunaudière.
. 15.	<i>Desmaresti</i> (<i>Ogygia Desmaresti</i> Brongniart, et <i>Illoenus giganteus</i> Burmeister).	{ Angers, Bain, Vitré, Tre- bœuf, Bourg- des-Comtes.
NILŒUS. 16.	<i>Beaumonti</i> (Rouault); huit articulations à l'abdomen; il se distingue du <i>Nilæus Armadillo</i> par sa grande taille, par une moindre inégalité entre les lobes latéraux et le lobe médian, enfin par quatre rangées de sept à huit points chacune sur le post-abdomen.	La Couyère.
OGYGIA. 17.	<i>Buchi</i> (Brongniart), sp.	{ La Couyère, Bain.
. 18.	<i>Edwardsi</i> (Rouault), plus ellipsoïde que la précédente, à bords plus épais.	{ La Couyère, Bain.
. 19.	<i>Guettardi</i> (Brongniart).	{ La Couyère, Angers, Bain, Vitré, Sion, La Hunaudière.
TRINUCLEUS. 20.	<i>Pongerardi</i> (Rouault), se distingue des autres espèces par la bifurcation du prolongement des angles postérieurs du bouclier.	Poligné.

Céphalopodes.

ORTHOCERATITES. 21.	<i>regularis</i> (Schlot).	Izé, Gahard.
. 22.	— Indéterminé	La Hunaudière.
NAUTILUS. 23.	— Indéterminé	Gahard.
BELLEROPHON. 24.	<i>bilobatus</i> (Murchison).	Bain, Vitré.

Gastéropodes.

EVOMPHALUS. 25.	<i>Letestu</i> (Rouault), petite espèce finement striée longitudinalement	Gahard.
TURBO. 26.	— indéterminé.	Vitré.
ACROCULIA. 27.	— indéterminé.	Poligné.
. 28.	Autre espèce indéterminée.	Gahard.

Conchifères.

Genres.	Espèces.	Localités.
PHOLAS.	29. <i>Cordieri</i> (Rouault), ayant quelques rapports avec la Pholade silicule de Lamarck.	Gahard.
ISOCARDIA.	30. <i>Valencienni</i> (Rouault), rappelant à quelques égards une Isocarde de Chine.	Gahard.
NUCULA.	31. <i>Chauveli</i> (Rouault), épaisse, triangulaire, à lunule légèrement arquée.	La Couyère.
.	32. <i>Duvaliana</i> (Rouault), plus épaisse et plus grande que la précédente.	Poligné.
.	33. <i>Deglandi</i> (Rouault), transverse, épaisse, à lunule très arquée.	Poligné.
.	34. <i>Bertrandi</i> (Rouault), triangulaire, peu épaisse; lunule légèrement arquée.	Poligné.
.	35. <i>Morreni</i> (Rouault), très transverse, terminée en pointe du côté postérieur, crochets peu saillants.	Poligné.
ARCA.	36. <i>Orbignyana</i> (Rouault), traversée par une côte oblique qui s'étend à l'angle inféro-postérieur.	Vitré.
AVICULA.	37. — Indéterminé.	Gahard.

Brachiopodes.

TEREBRATULA.	38. <i>lepida</i> (Goldfus).	Gahard.
.	39. <i>reticularis</i> (Walh.).	Gahard.
.	40. <i>concentrica</i> (Buch).	Gahard.
.	41. <i>Wahlebergii</i> (Goldfuss). Nos échantillons semblent en être une variété.	Gahard.
PENTAMERUS.	42. <i>galeatus</i> (Dalman).	Izé.
.	43. <i>Saint-Hilairei</i> (Rouault), voisin du précédent, mais dépourvu de plis longitudinaux.	Gahard.
SPIRIFER.	44. <i>heteroclitus</i> (Defr.).	Gahard.
.	45. <i>Bouchardi</i> (Murchison).	Gahard.
.	46. <i>Verneuili</i> (Murchison).	Gahard.
.	47. <i>Rousseau</i> (Rouault), voisin du précédent, diffère par le sinus lisse.	Gahard.
.	48. <i>Guyoti</i> (Rouault); coquille transverse, plus large que longue, couverte de stries concentriques; sinus marqué, ce qui la distingue du <i>Spirifer lineatus</i>	Gahard.
ORTHIS.	49. <i>umbonata</i> (<i>Delthyris</i> Conrad).	Gahard.
.	50. <i>Hamoni</i> (Rouault), voisin de l'Orthis <i>Michelini</i> , et aussi d'une espèce propre au <i>Hamilton group</i> de l'État de New-York.	Gahard.
.	51. <i>striatula</i> (Schloth.).	Gahard.
.	52. <i>umbraculum</i> (Schloth.), petite variété à stries fortement crénelées.	Gahard.
.	53. <i>Baylei</i> (Rouault), très petite espèce finement striée, à valve dorsale pourvue d'un grand crochet (groupe des <i>Recto-striata</i> de M. de Verneuil).	Gahard.

Genres.	Espèces.	Localités.
ORTHIS.	54. <i>Voisini</i> (Rouault), petite espèce à valves inégales, valve dorsale subcarénée et relevée au front, valve ventrale plate. Voisine de l' <i>Orthis parva</i>	Gahard.
.	55. <i>Serrurieri</i> (Rouault), petite espèce à valves égales; coquille finement striée; valve ventrale creusée par un sinus et relevant au front la dorsale.	Gahard.
LEPTOENA.	56. <i>laticosta</i> (Conrad).	Gahard.
Id.	57. <i>Murchisoni</i> (Archiac et Verneuil).	Gahard.
Id.	58. <i>Dutertrii</i> (Murchison).	Gahard.
Id.	59. <i>Gaultieri</i> (Rouault); à stries fines très nombreuses, séparées par des stries plus épaisses: forme de la coquille peu bombée.	Gahard.
Id.	60. <i>Fischeri</i> (Verneuil).	Gahard.
Id.	61. <i>depressa</i> (Sowerby).	Gahard.
Id.	62. <i>Caillaudi</i> (Rouault), à stries inégales et à bords géniculés. Valve dorsale concave. Voisin du <i>L. funiculata</i>	Gahard.
CHONETES.	63. <i>Pechoti</i> (Rouault); coquille transverse, 12 millimètres environ, très bombée; stries très marquées.	Gahard.
Id.	64. <i>Boulangeri</i> (Rouault), espèce distinguée de la précédente par ses stries plus fines et plus nombreuses.	Gahard.
PRODUCTUS.	65. <i>subaculeatus</i> (Murchison).	Gahard.
ORBICULA.	66. — Indéterminé.	Gahard.

Radiaires.

EUGENIACRINITES.	67. <i>Boitardi</i> (Rouault), très voisine de l' <i>Eugeniocrinites mespiliformis</i> de Goldfuss, distincte par sa forme plus allongée et le plus grand développement de ses bras et des arêtes où ils prennent naissance.	Gahard.
PLATYCRINITES.	68. — Indéterminé.	Gahard.
PENTACRINITES.	69. — Indéterminé.	Gahard.
RHODOCRINITES.	70. — Indéterminé.	Gahard.
	71. Plus une trentaine de fragments de tige de forme différente également indéterminés.	Gahard, Vitre, La Couyère.

Polypiers.

LITHODENDRON.	72. — Indéterminé.	Gahard.
CYATOPHYLLUM.	73. 12 à 15 espèces.	{ Hyenville, La Baconnière, Gahard.
FAVOSITES.	74. <i>Gothlandica</i> (Lamarck).	Gahard.
CRISERPIA.	75. <i>Michelini</i> (Edwards).	Gahard.
CERIOPORA.	76. — Indéterminé.	Gahard.
RETEPORA.	77. — Indéterminé.	Gahard.
TENTACULITES.	78. — Indéterminé.	Gahard.

M. de Verneuil, qui a examiné avec intérêt le résultat des

patientes recherches faites en Bretagne par M. Rouault, a vu avec plaisir que les fossiles qu'il y a découverts viennent confirmer plusieurs conclusions auxquelles M. d'Archiac et lui étaient arrivés, touchant la classification des localités fossilifères les plus importantes de cette contrée. Il soumet à la Société les observations suivantes :

1^o Les schistes d'Angers, de la Hunaudière, de Sion, de Bain, de Poligné, de la Couyère et de Vitré, ainsi que ceux de Siouville (Manche), sont contemporains, et contiennent presque les mêmes fossiles;

2^o Ces schistes appartiennent au *système silurien inférieur*. Les Trilobites que l'on en possède depuis longtemps, telles que l'*Ogygia Guettardi*, Brong., et l'*Illænus giganteus*, Burm., ainsi que celles que MM. de Verneuil et d'Archiac y ont découvertes, c'est-à-dire l'*Illænus crassicauda*, Dalm., et le *Cheirurus claviger*, Beyr., suffisaient déjà pour leur assigner cette position; mais parmi les espèces que M. Rouault y a trouvées, il en est trois, *Ogygia Buchii*, *Phacops longicaudatus* et *Trinucleus Pongerardi*, qui ne peuvent laisser aucun doute. La première est tout à fait caractéristique de l'étage inférieur du système silurien, et la dernière est si voisine du *Trinucleus Caractaci*, qu'on peut croire qu'elle a vécu à la même époque (1).

3^o Les calcaires et schistes de Gahard près Rennes, sont les mêmes que ceux de la rade de Brest, d'Izé près Vitré, de la Babacconnière, de Chalonnès sur les bords de la Loire, et très probablement aussi les mêmes que ceux de Nehou (Manche). Quant à l'âge de ces roches, elles semblent être contemporaines de celles qu'on appelle dévoniennes dans l'Eifel, à Ferques près Boulogne,

(1) Le genre *Trinucleus* se présente en Angleterre dans les deux divisions principales de l'étage *inférieur du système silurien* et en Amérique, dans les couches à peu près correspondantes de Trenton et de Hudson-River, qui ont ensemble une épaisseur de plus de 4,200 pieds. Il ne paraît pas, dans ce dernier pays, descendre tout-à-fait jusque dans les couches fossilifères les plus basses. Il en est de même en Bohême, selon M. Barrande. Dans aucune contrée il ne s'élève jusqu'au *système silurien supérieur*, si ce n'est peut-être en Angleterre, où l'on prétend qu'il vient d'être récemment découvert dans les couches inférieures de Wenlock.

et dans le Devonshire. Le catalogue de M. Rouault contient les espèces dévoniennes suivantes, provenant de Gahard : *Proetus Cuvieri*, *Phacops macrophthalmus*, *Terebratula lepida*, *T. concentrica*, *T. Wahlebergii*, *Spirifer Bouchardi*, *S. heteroclitus*, *S. Verneuli*, *Leptaena Dutertii*, *Orthis umbraculum*. A ce sujet, M. de Verneuil appelle l'attention de la Société sur la découverte que M. Rouault a faite à Gahard de trois espèces de fossiles connues aux États-Unis, et qui n'avaient jamais encore été trouvées en Europe, savoir : *Cryphaeus calliteles*, *Orthis umbonata*, *Leptaena laticosta*. La position si bien déterminée de ces trois espèces dans l'État de New-York peut aider à bien fixer la place que doivent occuper dans la série paléozoïque les calcaires et schistes de Gahard. En Amérique ces espèces se trouvent dans un grand étage de Psammites, appelé *Hamilton group*, et supérieur non seulement au calcaire de Niagara, qui est l'équivalent du calcaire de Wenlock, mais encore aux couches d'Helderberg.

4^o *Le terrain silurien supérieur*, ou l'étage de Wenlock, paraît manquer en Bretagne, ou du moins n'y est pas représenté par des couches fossilifères.

M. de Verneuil fait observer aussi que le nouveau genre proposé par M. Rouault sous le nom de *Prionocheilus* pourrait bien être identique avec la *Calymene pulchra* (Barrande) des grès de Wessela en Bohême. Les prolongements du bouclier, la forme et le nombre des articulations que M. Rouault croit être de dix, l'ont engagé à séparer cette espèce du genre *Calymene*.

Explication de la planche du Mémoire sur les Trilobites d'Ille-et-Vilaine, par M. Marie Rouault.

Fig. 1. — *Trinuclæus Pongerardi* ; animal entier reconstruit d'après l'ensemble des caractères fournis par plus de deux mille échantillons (grandeur naturelle).

- 1 a. Le même, enroulé, vu en dessous, montrant à la fois la ponctuation de la face inférieure du bourrelet, lequel entoure la pièce épistomienne, qui se trouve en partie cachée par les lobes de l'abdomen ; le post-abdomen n'est pas visible, se trouvant constamment sous l'abdomen quand l'animal est enroulé.
- 1 b. Jeune individu enroulé, vu en dessous, et dont une partie des lobes de l'abdomen manque, ce qui permet de voir la position que prenait le post-abdomen quand l'animal s'enroulait.

4 c. Coupe longitudinale du même, faisant voir à la fois le rapport qui existait entre les points renfoncés de la face supérieure du bourrelet *e, e, e*, et ceux de la face inférieure *d, d, d*, l'épistome *f*, le lobe moyen de la tête *g*, l'abdomen *h*, et enfin la position du post-abdomen *i* (double de grandeur naturelle).

Fig. 2. — *Nilæus Beaumonti* ; individu de moyenne taille, montrant sur le milieu du post-abdomen quatre rangées de points, comme dernières traces des articulations (d'après nature).

Fig. 3. — *Prionocheilus Verneuli* (grandeur naturelle ; d'après nature).

3 a. Partie du bord inférieur de la lèvre du *Prionocheilus Verneuli* (d'après nature).

Fig. 4. — *Calymene Tournemini* (grandeur naturelle ; d'après nature).

Fig. 5. — *Phacops Dujardini* (grandeur naturelle ; d'après nature).

Fig. 6. — *Pholas Cordieri* (grandeur naturelle ; d'après nature).

Fig. 7. — *Leptæna laticosta* (de moyenne taille ; d'après nature).

7 a. Coupe du même.

Fig. 8. — 8 a. 8 b. *Orthis umbonata* (de moyenne taille ; d'après nature).

Fig. 9. — Œil du *Phacops Downingiæ* (1), sur lequel il ne reste plus

Note sur les organes de la vue des Trilobites, par M. Marie Rouault.

(1) Jusqu'ici on n'avait encore signalé que deux parties distinctes dans la structure des yeux réticulés que présentent certaines espèces de Trilobites, savoir : un tubercule dont la forme rappelle plus ou moins celle d'un cône tronqué obliquement, lequel est couvert sur son pourtour seulement d'un grand nombre de petits corps de forme plus ou moins lenticulaire et dont l'ensemble constitue la réticulation de ces organes.

À l'aide des observations que j'ai pu faire sur les nombreux échantillons que j'ai recueillis en Bretagne, et sur ceux venant de l'Eifel, que je dois à l'honorable libéralité de M. Dujardin, j'ai été à même de reconnaître dans la structure de ces yeux deux autres parties bien distinctes qu'il me semble important de faire connaître.

La première se trouve interposée entre le tubercule commun et les lenticules dont je viens de parler ; elle est, suivant les espèces, représentée tantôt par une simple couche comme chez le *Phacops Downingiæ*, présentant autant de petites fossettes qu'il existe de lenticules, chacune d'elles étant remplie par une de ces dernières ; chez d'autres espèces, telles que le *Phacops macrophthalmus*, elle se compose d'une série de petites coupes indépendantes les unes des autres, égales en nombre à celui des lenticules qu'elles reçoivent ; et ces petites pièces qui ont la forme d'une capsule dans l'espèce que je viens de citer, se présentent chez le *Phacops longicaudatus* comme autant de petits tubes au sommet de chacun desquels se trouve une lenticule. Tous ces petits tubes réunis rappellent assez bien par leur disposition

que quelques traces de la couche dans laquelle se trouvaient incrustées les lenticules ; la forme très régulière et lisse de ce tubercule prouve bien que cette couche ne faisait pas corps avec lui (grandeur naturelle d'après nature).

9 *a*. Position de cette même couche, montrant les fossettes qu'occupaient les lenticules (vue sous un très fort grossissement, d'après nature).

9 *b*. Portion de la même couche avec les lenticules (même grossissement, d'après nature).

Fig. 40. — Œil du *Phacops Macrophthalmus* (grandeur naturelle d'après nature).

40 *a*. Position du même, montrant la forme des capsules (même grossissement que pour les portions de l'œil de l'espèce précédente, d'après nature).

40 *b*. Portion du même œil, avec les lenticules (même grossissement, d'après nature).

40 *c*. Portion du même, montrant la cornée dont les mailles servent

celle qu'affectent les graines dans un fruit de tournesol, où chacune n'offre de visible qu'un petit mamelon au sommet duquel se distingue l'impression laissée par la fleur, impression qui rappelle celle des lenticules dans les yeux de ce fossile.

La deuxième partie que je signale à l'attention des savants est l'existence d'une cornée dont la disposition n'a rien de commun avec ce que l'on a pu observer jusqu'à présent. Chez ces fossiles, comme chez beaucoup d'animaux, la cornée fait partie du test ; mais ce qu'elle n'a de commun avec aucun autre, c'est la disposition qu'elle affecte, disposition qui a pu empêcher qu'on n'en ait reconnu l'existence ; sa forme est celle d'un réseau dont les mailles correspondent exactement avec les lenticules pour le nombre et la disposition, et son épaisseur est telle dans la partie qui se trouve entre ces dernières, que non seulement elle remplit tout l'espace qui les sépare, mais encore elle les dépasse de beaucoup à l'extérieur, de sorte que chaque lenticule occupe le fond d'un petit encadrement de forme hexagonale. Il résulte de cette disposition qu'un frottement pouvait avoir lieu sur l'œil de ces animaux, sans que les lenticules et même la partie de la cornée qui les recouvrait fussent attaquées. Cette disposition, que j'ai observée chez le *Phacops macrophthalmus*, ne me paraît pas être commune à toutes les espèces ; ainsi, tandis que chez le *Phacops Downingiæ* elle m'a paru excessivement mince sur toute la surface de l'œil, chez le *Phacops longicaudatus*, au contraire, elle me paraît avoir joui d'une très grande épaisseur.

A l'exception de la figure 44 *c*, toutes les autres portions d'yeux que j'ai figurées dans la planche sont représentées vues sous un même grossissement, ce qui permettra de voir la différence qui existe dans la disposition et le volume que présentent les lenticules chez ces diverses espèces.

d'encadrement aux lenticules, qui présentent dans ce cas un moins grand diamètre (même grossissement; d'après nature).

Fig. 44. — OEil du *Phacops longicaudatus* (grandeur naturelle; d'après nature).

44 a. Position du même, faisant voir la partie supérieure des petits tubes sur lesquels on remarque l'impression laissée par les lenticules (même grossissement que les espèces précédentes; d'après nature).

44 b. Le même avec les lenticules (même grossissement, d'après nature).

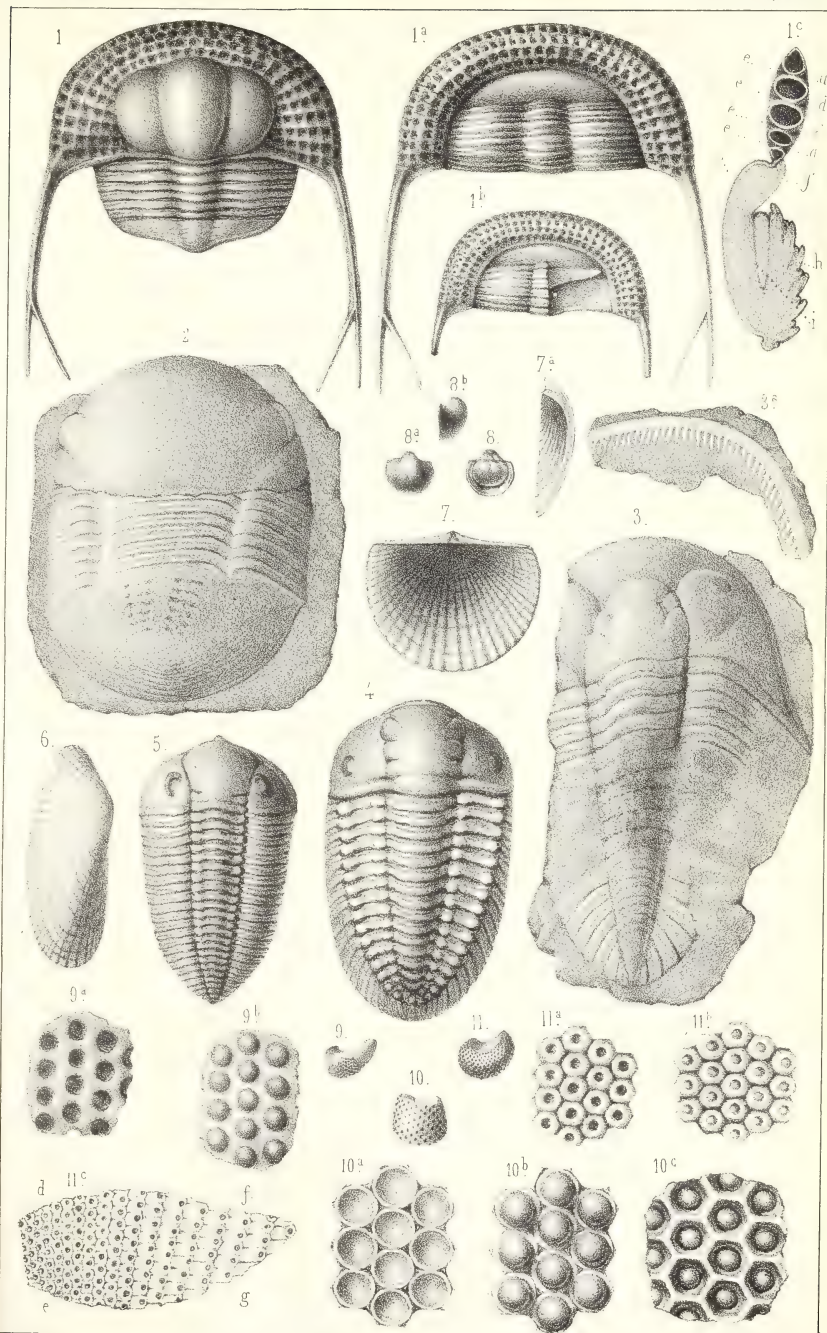
44 c. Fragment d'un œil du même animal, dont la forme a été modifiée par une force qui s'est exercée perpendiculairement sur la ligne *d*, *e*, et d'une manière de plus en plus oblique à mesure qu'on s'écarte davantage de cette ligne vers la ligne *f*, *g*. Il résulte de cette déformation que les différents petits tubes qui supportaient les lenticules, ayant une certaine dimension en longueur, ont été déviés d'autant plus, qu'ils étaient plus écartés du point où la force a agi perpendiculairement (vu sous un grossissement beaucoup moindre que les autres portions d'yeux; d'après nature).

M. Vattemare écrit à la Société pour lui annoncer son départ pour l'Amérique et lui demander ses instructions. Cette lettre est renvoyée au Conseil.

M. Mary lit, au nom de M. Belgrand, le Mémoire suivant.

Études hydrologiques dans les granites et les terrains jurassiques formant la zone supérieure du bassin de la Seine, par M. Belgrand, ingénieur des ponts et chaussées.

1. *Exposé.* — Ce Mémoire a pour but de déterminer le degré de perméabilité aux eaux pluviales de diverses natures de terrain qui forment le quart supérieur du bassin de la Seine en amont de Paris. Quoiqu'on ait quelques notions vagues sur la perméabilité des terrains calcaires et l'imperméabilité des argiles, cependant jamais le problème que je me propose de résoudre n'a été étudié à fond, sans doute parce qu'il n'est pas susceptible d'une solution générale. Plusieurs ingénieurs font même abstraction complète de ces propriétés du sol. Ainsi M. Duleau, dans son Cours de routes et ponts, donne une règle pratique pour déterminer le débouché des ponceaux, en tenant compte seulement de la hauteur des montagnes et de l'étendue de leurs versants. Je démontrerai (voir plus bas) que cette règle doit donner et donne en effet les résultats les plus erronés. M. Dausse, dans un article très intéressant sur la



Tholot del

- 1 Trinucleus Pongerardi.
- 2 Nilœus Beaumonti.
- 3 Prionocheilus Verneuli
- 4 Calymene Tournemini.

- 7 Leptæna laticosta.
- 8 Orthis umbonata
- 9 Orthis umbonata
- 10 Orthis umbonata
- 11 Orthis umbonata

Imp. Koenig & Co



pluie (*Annales des ponts et chaussées*, 1842, 1^{er} semestre, n^o 35), attribue à l'évaporation la totalité de la perte d'eau du bassin de la Seine en amont de Paris. Je ferai voir que dans les terrains dont il sera question plus bas, lesquels forment le quart de ce bassin, une grande partie de l'eau tombée est absorbée par le sol, et, par suite de la disposition des lieux, ne peut reparaitre dans les sources en amont de Paris.

Dans le présent Mémoire, je m'occuperai : 1^o de la classification des terrains granitiques et jurassiques sous le rapport de la perméabilité (3 et 4); 2^o de l'influence que cette propriété exerce sur les cours d'eau (6 et 7); 3^o de la détermination du débouché des ponts (8; 9, 10 et 11); 4^o du tracé et de l'alimentation de canaux de navigation (11, 12 et 13); 5^o de la nature des terrains où il est possible d'établir des canaux d'irrigation (14); 6^o de la régularisation du débit des rivières et des moyens d'arrêter la marche des alluvions (de 15 à 27); 7^o de l'application de ces principes au premier quart du bassin de la Seine; 8^o et du reboisement et de l'influence des sous-sols sur les cultures (34 et 35).

Les terrains granitiques et jurassiques que j'ai pu observer dans le bassin de la Seine forment une longue zone courant du S.-O. au N.-E., entre Clamecy (Nièvre) et Chaumont (Haute-Marne); sa longueur est d'environ 160 kilomètres, sa largeur de 70. La superficie totale est donc de 11,000 kilomètres carrés. La surface du bassin de la Seine en amont de Paris est en nombre rond de 44,000 kilomètres carrés; les terrains en question en occupent donc le quart. Ils forment une superficie à peu près aussi étendue dans le bassin de la Saône et de la Loire. Cette observation seule donne de l'importance à leurs propriétés. quand bien même elles ne seraient pas constantes et ne s'observeraient pas dans les autres localités occupées par les mêmes formations. Si quelques personnes trouvent de l'intérêt à ce qui va suivre et constatent par les moyens très simples indiqués ci-dessous, la constance des propriétés reconnues aux terrains jurassiques du bassin de la Seine, les propositions contenues dans ce Mémoire prendront un caractère de généralité qui doublera leur importance.

La présente notice appelle donc la contradiction et doit être publiée dans un recueil ouvert à toutes les opinions impartiales. Avant d'entrer en matière, je crois devoir donner quelques explications très simples sur la nature des terrains dont il va être question.

2. *Granites*. — Je me borne seulement à rappeler ici qu'ils forment une masse solide sans stratifications régulières, couverte d'une

infinité de fissures qui la sillonnent dans tous les sens ; qu'ils s'al-tèrent quelquefois au contact de l'atmosphère , et qu'ils produisent une arène grasse par sa décomposition. Il existe dans la Côte-d'Or, entre les *granites* et les *terrains jurassiques* , une épaisseur plus ou moins grande de *marnes irisées*. Mais cette formation étant , sous le rapport de l'imperméabilité , parfaitement comparable au *lias* dont il va être question ci-dessous , je la confondrai avec ce terrain.

Terrains jurassiques. — Cette immense formation est composée, à partir de sa base , des groupes suivants :

Lias. — Terrain composé de bancs calcaires gris-bleuâtres , minces , alternant avec des couches argileuses de même couleur , dans lesquelles ils sont complètement noyés , à peu près comme le moellon dans le mortier d'une maçonnerie bien faite ; cette formation , de 30 mètres environ d'épaisseur , est terminée par plusieurs bancs d'un calcaire solide (calcaire à Gryphées arquées).

Marnes supra-liasiques. — Couches puissantes d'argiles , ayant au maximum 100 mètres d'épaisseur , divisées en deux par une série de bancs calcaires (calcaires à Gryphées cymbium) , ayant ensemble 3 ou 4 mètres d'épaisseur.

Terrains oolitiques. — Ils sont composés des sous-groupes suivants : le calcaire à Entroques , la terre à foulon , la grande oolite , le forest-marble , l'oxford-clay , le coral-rag , les argiles de Kimmeridge , le portland-stone. Le *calcaire à Entroques* se compose d'assises minces d'un calcaire très dur , dont la cassure présente une multitude de petits cercles à surfaces spathiques brillantes , qui ne sont autre chose que des sections d'Entroques ou bras d'Encrinites. Épaisseur maxima , 30 mètres environ. La *terre à foulon* est formée , à sa base , de bancs marneux grisâtres , d'un grain terne , alternant avec des argiles grises , renfermant un grand nombre de Térébratules. Au-dessus se trouve une série de couches calcaires minces , connues dans le pays sous le nom de *laves* , et par les géologues sous celui de *dalle nacrée* ; elles servent à couvrir les maisons ; enfin , à la partie supérieure on retrouve les calcaires marneux , alternant avec les argiles grises , et renfermant un nombre prodigieux de Pholadomies. L'épaisseur de la terre à foulon ne dépasse pas 30 mètres.

La *grande oolite* se compose à sa base de bancs minces marno-compactes alternant quelquefois avec des argiles. Au-dessus se trouvent un ou deux bancs calcaires renfermant quelques oolites , épais de 4 à 5 mètres , et connus des carriers sous le nom de *gros bancs*. La formation se termine par une série de bancs minces ,

d'un blanc mat, composées presque entièrement d'oolites miliaires parfaitement sphériques, réunies par une gangue calcaire si peu compacte, que dans certaines carrières on peut les égrainer à la main. Le *forest-marble* est formé d'une série de bancs calcaires plus ou moins minces, d'un grain gris très dur empâtant des oolites miliaires beaucoup moins distinctes que dans la grande oolite. La surface des bancs est hérissée de pointes d'Oursins et de petits Polypiers. La grande oolite et le *forest-marble* ont quelquefois jusqu'à 200 mètres d'épaisseur (1). L'*oxford-clay* se compose à sa base d'un calcaire gris compacte, caverneux, très fossilifère, alternant quelquefois avec des argiles grises renfermant un minéral de fer à grains oolitiques miliaires. Au-dessus se trouve une formation marneuse assez puissante, et enfin la plus grande partie de la formation se compose de bancs minces d'un calcaire gris marneux présentant l'aspect de la pierre à lithographie, alternant avec des marnes grises. Ces marnes renferment souvent des boules siliceuses géodiques auxquelles on a donné le nom de chailles. L'épaisseur maxima de la formation est de 100 mètres. Je n'ai pas été à même de faire des observations suffisantes dans le coral-rag et les terrains oolitiques supérieurs. Toutefois je pense que, sous le rapport de la perméabilité, le coral-rag et le portland-stone doivent être comparés aux terrains oolitiques inférieurs, et le kimberidge-clay aux argiles d'Oxford.

Aspect des terrains jurassiques.

Terrains liasiques. — Lorsque les terrains liasiques se présentent dans leur ensemble au bord d'une vallée, les calcaires inférieurs forment une pente très abrupte et rendue très inégale par les assises calcaires qui se présentent irrégulièrement à sa surface. *a.* Le calcaire à Gryphées arquées forme un palier bien marqué et quelquefois un vaste plateau. *b.* Les marnes supra-liasiques sont disposées en pente douce à la base, plus rapide au-dessus, à section concave, où M. l'ingénieur Collin a reconnu des arcs de Cycloïde. *c.* Le calcaire à Gryphées *cymbium* forme au milieu une saillie prononcée qui rend les deux étages marneux très distincts. Une riche végétation, et souvent de belles prairies qui s'élèvent jusqu'au

(1) Je comprends dans le *forest-marble* la formation calcaire désignée sous les noms de *corn-brash*, *kelloway-rock*, calcaire à *Oolites oviformes*, qu'il est très difficile de distinguer du *forest-marble*, et qui ne présente aucun caractère saillant.

sommet des collines , contrastent avec la nudité stérile des terrains supérieurs. — *Terrains oolitiques.* — *d.* Le calcaire à Entroques présente de grandes parois verticales , qui , de loin , lorsqu'elles couvrent une vallée , ressemblent à de vieilles fortifications. *e.* La terre à foulon forme des collines arrondies où les assises solides moyennes figurent des murailles en ruine. *f.* Les parties inférieure et supérieure de la grande oolite sont disposées en grands talus plans , très roides (de 35°), recouverts de débris détachés par la gelée , au milieu desquels les gros bancs forment une saillie verticale prononcée. *g.* Le forest-marble présente des parois tantôt verticales , tantôt plus ou moins inclinées , mais toujours peu régulières en raison des bancs qui viennent percer le sol. *h.* L'étage inférieur de l'oxford-clay , qui est compacte , a le même aspect ; mais les parties supérieures forment de longues collines arrondies et à pentes douces , où les bancs calcaires forment quelquefois de faibles saillies.

CHAPITRE PREMIER. — DU MOUVEMENT DES EAUX PLUVIALES DANS LES GRANITES ET LES TERRAINS JURASSIQUES.

3. Lorsqu'on examine attentivement une vallée entièrement ouverte dans un des groupes des terrains ci-dessus définis , on est frappé d'abord des faits suivants : 1^o si la vallée est liasique ou granitique , quelque peu étendue qu'elle soit , n'eût-elle que quelques hectares de superficie , un ravin en occupe le fond ; 2^o si les terrains qui forment la vallée appartiennent aux quatre étages inférieurs des terrains oolitiques , ordinairement on ne remarque aucun ruisseau dans la vallée ; la culture s'étend jusqu'au fond ; quelquefois il s'y trouve un ruisseau , produit d'une source abondante , mais qui décroît à mesure que son cours s'allonge , et finit presque toujours par disparaître. Les observations faites dans les arrondissements de Châtillon , de Semur et d'Avallon ont toutes prouvé l'exactitude de ces faits , même dans les vallées de 100 à 200 kilomètres superficiels (voir la note C). L'oxford-clay donne des résultats très différents , suivant que les observations ont lieu dans la partie marneuse ou dans celle où les calcaires dominent. Toutefois , les vallées d'une certaine étendue présentent toutes un ravin dans leur partie la plus basse ; mais en été , même après de fortes pluies , ce ravin est rarement occupé par un ruisseau , à moins qu'il ne soit alimenté par des sources abondantes. Pendant une forte pluie , chaque sillon , dans les formations liasiques , ou dans les granites , devient un ruisseau , chaque pli du sol devient un torrent ;

dans les formations oolitiques, au contraire, on voit rarement les eaux pluviales courir à la surface du sol. Les terrains jurassiques, pour ce qui concerne le mouvement des eaux pluviales à leur surface, forment donc trois groupes bien tranchés, savoir : 1° lias et marnes supra-liasiques, très peu perméables à l'eau (1); 2° formation oolitique inférieure comprenant le calcaire à Entroques, la terre à foulon, la grande oolite et le forest-marble, très perméable; 3° l'oxford-clay, semi-perméable. — 4. *Propriété fondamentale.* — En déterminant le rapport qui existe entre la plus grande section mouillée d'un pont exprimée en mètres carrés, et la superficie des versants d'amont exprimée en kilomètres carrés (2), et en répétant cette opération pour plusieurs vallées, on obtiendra des nombres qui, en supposant les vitesses d'écoulement constantes, seront proportionnels au volume de l'eau qui, dans la plus grande pluie connue, s'écoule à la surface du sol. Ces nombres seraient donc la mesure de l'imperméabilité de la vallée, puisqu'il est bien évident (toujours en supposant la vitesse constante) que si l'on représente par 1 le débouché nécessaire par kilomètre carré pour une vallée laissant écouler à sa surface la totalité de l'eau tombée, pour des vallées qui n'en laisseraient couler que la moitié, le tiers, le quart, les débouchés nécessaires, par kilomètre carré, seraient $1/2$, $1/3$, $1/4$. Mais il est évident que les vitesses d'écoulement ne sont pas constantes. Cependant, comme on remarque que les rapports obtenus pour un certain nombre de vallées, d'une même formation, ne varient pas beaucoup entre eux et sont, au contraire, très différents de ceux obtenus pour les autres formations, on peut admettre que ces nombres représentent, avec une approximation suffisante dans la pratique, la mesure de l'imperméabilité de chaque formation. Il y aura toutefois à faire pour les granites une correction qui sera indiquée ci-dessous. En cherchant ces rapports, ou, en d'autres termes, le débouché par kilomètre superficiel de vallée des petits ponts pour chacun des groupes qui nous occupent, on trouve que pour les granites il faut par kilomètre carré de versants (*voir la note A*) une surface de ponceau de 0^{m.c.},44; pour le lias (*voir la note B*), une surface de 1^{m.c.},50; pour les terrains oolitiques inférieurs (*voir*

(1) Dans tout le reste du présent Mémoire, je désignerai ce groupe sous le nom de lias, bien que dans la carte de l'École des mines les marnes supra-liasiques soient comprises dans l'oolite inférieure.

(2) On suppose ici les vallées très peu étendues, de 50 kilomètres carrés au plus, par exemple.

la note C), une surface plus petite que 0^{m.c.},009; pour l'oxford-clay (voir la note D), une surface variant de 0^{m.c.},0366 à 0^{m.c.},24. Les vallées granitiques où sont placés les ponceaux observés ont toutes de très grandes pentes (0^m,01 par mètre). La vitesse de l'eau y est donc très forte, et il est probable qu'à pentes égales il faudrait pour ces terrains un débouché peu différent de celui des terrains liasiques. Cette correction faite, représentons par 1 l'imperméabilité des terrains liasiques et granitiques; l'imperméabilité des terrains oolitiques inférieurs sera représentée par 0,006, et celle de l'oxford-clay par des quantités comprises entre 0,024 et 0,16. Remarquons que ces chiffres s'appliquent aux plus grandes crues connues, où la couche du sol est saturée d'eau. On peut donc admettre que dans les terrains oolitiques et dans l'oxford-clay, les pluies ordinaires, même assez fortes, ne donnent exactement rien au fond des vallées. Ce qui est du reste parfaitement justifié par les observations que j'ai été à même de faire dans les diverses localités (voir la note C). — 5. Il est intéressant d'examiner quel est dans un sous-sol imperméable le rapport moyen entre la quantité d'eau tombée annuellement et celle qui s'écoule à la surface, la différence de ces deux chiffres étant évidemment enlevée par l'évaporation.

M. Minard (*Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*, p. 317) cite les rapports suivants entre la quantité d'eau écoulée par la Brenne, à Gros-Bois, par mètre carré de versants, et la quantité observée à l'udomètre de Pouilly (canal de Bourgogne).

ANNÉES.	NOMBRE de mois.	RAPPORTS observés.	PRODUITS des nombres des deux dernières colonnes.
1834.	3	0,32	0,96
1835.	12	0,50	6,00
1836.	12	0,70	8,40
1837.	10	0,53	5,30
Totaux.	37		20,66
Rapport moyen cherché.			0,56

Or, le fond de la vallée de la Brenne est liasique, c'est-à-dire

imperméable. A la vérité, les coteaux qui le bordent sont couronnés par le calcaire à Entroques. Mais l'eau qui y est absorbée est arrêtée par la masse argileuse et reparait dans les sources nombreuses qui coulent au fond de toutes les dépressions secondaires. La quantité d'eau enlevée par l'évaporation est donc à peu près égale, dans le calcul actuel, à la différence entre le mètre cube d'eau tombée et le cube d'eau représentant le débit de la Brenne; mais à coup sûr elle n'est pas plus grande que cette différence. Les versants sont du reste peu boisés, de sorte que l'évaporation agit avec son maximum d'intensité. Si les observations précitées étaient assez nombreuses, on pourrait admettre le principe qui suit : La quantité d'eau moyenne enlevée par l'évaporation dans un terrain déboisé est au plus égale aux $\frac{4\frac{3}{4}}{100}$ de l'eau tombée annuellement; d'où découlent les corollaires suivants : « Dans les terrains granitiques et liasiques déboisés, c'est-à-dire placés dans les circonstances les plus défavorables, la quantité d'eau qui s'écoule à la surface est en moyenne égale aux $\frac{5\frac{6}{10}}{100}$ de l'eau tombée. Dans les terrains oolitiques inférieurs, cette quantité est sensiblement nulle. Et dans l'oxford-clay elle est au plus égale aux $\frac{8}{100}$ de l'eau tombée. » Toutefois les faits cités par M. Minard sont trop peu nombreux pour qu'on puisse appliquer ce rapport, 0,56, à tous les terrains imperméables qui nous occupent. Il faudrait évidemment d'autres observations faites les unes dans des lieux boisés, les autres sur des terrains découverts.

CHAPITRE II. — DES MODIFICATIONS ÉPROUVÉES PAR LES COURS D'EAU DANS LA TRAVERSÉE DES TERRAINS GRANITiques ET JURASSIQUES.

Des sources.

6. *Dans les granites*, il existe peu de sources très importantes, et l'on conçoit qu'il doit en être ainsi dans des terrains où il n'y a aucune stratification régulière. Mais en revanche on y trouve une quantité prodigieuse de petites sources superficielles, des suintements à travers les mousses, les herbages, les fissures des rochers, qui grossissent immédiatement après les pluies, mais qui ne résistent pas à une longue sécheresse (voir la note E). — *Dans les terrains jurassiques*. — Les terrains liasiques, étant très imperméables, ne présentent dans toute l'étendue de leur masse que des nappes d'eau peu abondantes : 1° dans leur contact avec les granites; 2° au-dessous du calcaire à Gryphées arquées; 3° au-dessous du calcaire à Gryphées cymbium. Mais entre les marnes et le cal-

caire à Entroques, il existe une très belle nappe d'eau qui, dans la Côte-d'Or, produit des sources extrêmement remarquables. Ce calcaire couronne la plupart des vallées à leur origine, près du faite de partage qui traverse tout le département entre Saulieu et la Haute-Marne. Aussi presque toutes les rivières qui coulent de ce faite vers l'océan, le Serein, l'Armançon, la Brenne, l'Oze, la Seine, l'Ource, l'Aube, etc., prennent leurs sources au-dessus des marnes liasiques, et sont grossies, dans la première partie de leur cours, par les magnifiques fontaines qui coulent au fond de chaque pli des montagnes. On trouve, dans les plateaux de calcaire à Entroques, de nombreux jets évidemment artésiens qui se font jour à travers les roches et dont l'origine est au-dessus des marnes supra-liasiques. La partie marneuse de la terre à foulon donne naissance à quelques belles sources très chargées de matières calcaires qu'elles déposent au fond de leurs lits. Il est rare de trouver une source dans la grande oolite et le forest-marble. Les plus belles sources des terrains jurassiques sont à coup sûr dans l'oxford-clay, au moins pour la partie des départements de la Côte-d'Or et de l'Yonne que je connais; on les trouve à tous les étages marneux. Mais presque toujours elles se montrent au jour près du fond des vallées, sans doute parce que les couches d'argile ne sont pas assez puissantes pour les soutenir à une grande hauteur; elles diffèrent en cela des sources subordonnées au calcaire à Entroques, qui, soutenues par une grande masse de marnes, se font jour à toute hauteur au-dessus du fond des vallées. Je citerai parmi les plus remarquables, dans l'Yonne, les sources de Crisenon, de Reigny près Vermanton, de Noyers, etc.; et, dans la Côte-d'Or, de Laignes (la plus abondante de celles que je connaisse), de Châtillon, de Brion, etc., etc.

Des cours d'eau.

7. *Dans les granites.* — Pendant les pluies et les fontes de neige, les cours d'eau, en traversant les granites, reçoivent une alimentation des eaux qui coulent à la surface du sol; les sources superficielles qui succèdent aux pluies soutiennent assez longtemps les cours d'eau secondaires; mais ils tariraient entièrement pendant les sécheresses s'ils n'étaient pas alimentés par les nombreux étangs qui couvrent encore le Morvan. — *Dans le lias.* — Le lias, comme je l'ai dit plus haut, donne une énorme quantité d'eau superficielle pendant les pluies continues; aussi les rivières au temps des crues s'enflent beaucoup en traversant ces terrains. Les nombreux ruisseaux qui sortent des sources supérieures se soutiennent bien à

l'étiage. — *Dans les terrains oolitiques inférieurs.* — Le calcaire à Entroques, la grande oolite et le forest-marble ne fournissent que de très faibles quantités d'eau aux rivières qui les traversent, et lorsqu'elles ne sont pas trop fortes, ils les absorbent pendant les sécheresses. Le Serein, la Seine, l'Ource, etc., disparaissent à l'étiage en amont de Noyers, Châtillon, Brion, en traversant les rochers de la grande oolite et du forest-marble (*voir la note C*). Toutefois on ne doit pas s'exagérer la puissance absorbante de cette partie des lits des rivières, ainsi que le prouve la remarque suivante : tant que les usines situées en amont de points absorbants marchent d'une manière continue, la rivière ou le ruisseau peuvent atteindre, sans se perdre complètement, la formation de l'oxford-clay. Ce n'est donc que lorsque l'eau est tellement basse que les usines marchent par éclusées, que l'absorption complète a lieu. Mais aucune de ces usines n'utilise un mètre cube d'eau par seconde en marchant d'une manière continue ; ainsi toute rivière de quelque importance, débitant plus d'un mètre par seconde à l'étiage, peut traverser les calcaires perméables en question sans être absorbée à l'étiage, mais aussi sans éprouver de gonflement sensible par les plus grandes pluies. — *Dans l'oxford-clay.* — Les magnifiques fontaines qui sortent de l'oxford-clay régénèrent les petits cours d'eau taris à l'étiage par le contact des rochers absorbants. Ainsi, le Serein, la Seine et l'Ource, que nous avons vus disparaître à l'étiage dans les rochers de la grande oolite, en amont de Noyers, Châtillon, Brion, renaissent de nouveau immédiatement au-dessous de ces trois localités. Dans les pluies ordinaires, l'oxford-clay donne très peu d'eau aux rivières ; les crues d'été, par exemple, y sont assez rares. Ce n'est guère qu'à la suite des grandes pluies d'orage et des fontes de neige que les cours d'eau établis entièrement dans ce terrain paraissent se gonfler.

CHAPITRE III. — APPLICATIONS DES PRINCIPES CI-DESSUS CONCERNANT L'ART DE L'INGÉNIEUR

8. *Débouchés des ponts.* — Un ingénieur qui a conservé, comme praticien, une juste réputation dans le corps des ponts et chaussées, M. Duleau, a proposé, pour fixer le débouché des petits ponts, la règle pratique suivante (*Cours de construction lithographié* ; ponts, p. 3 et 4) : « Dans un pays plat, où les collines n'ont que 15 à 20 mètres de hauteur, on donne 0^m,80 de largeur par lieue carrée, et dans les pays où les montagnes les plus élevées ont environ

50 mètres au-dessus du fond des vallées , on donne 2 mètres environ par lieue carrée. » En suivant cette règle, on aurait donné au pont de Lucy-le-Bois sur le Veau-de-Bouche (voir la note B) une superficie de 12 mètres superficiels au plus, au lieu de 36 mètres superficiels , débouché nécessaire. Depuis que j'habite le département de l'Yonne (environ quatre ans), il aurait été insuffisant quatre ou cinq fois, et aurait probablement été emporté le 27 mai 1841. On aurait donné au pont de Puits (route royale n° 80) (voir la note C) un débouché de 30 à 40 mètres superficiels au lieu de celui de 1^m,71 superficiel qu'il a actuellement et qui est plus que suffisant. Ces deux exemples suffisent pour démontrer avec quelle réserve on doit accepter la règle empirique de M. Duleau. Je crois que par sa nature le problème n'a pas de solution générale déterminée. Pour les localités où mes études ont été faites, c'est-à-dire pour les départements de la Côte-d'Or , de l'Yonne , et probablement de Saône-et-Loire , de la Nièvre, de la Haute-Saône , du Doubs , etc. , je pense qu'on pourrait adopter les bases suivantes :

Vallée ayant au plus une superficie de 50 kilomètres carrés (1).

1° Dans les vallées granitiques boisées et à fortes pentes , débouché de 0^{m.c.},40 à 0^{m.c.},50 par kilomètre carré de versants; 2° dans le lias et les vallées granitiques non boisées et à faibles pentes , 1^{m.c.},50 par kilomètre carré ; 3° dans le calcaire à Entroques , la grande oolite et le forest-marble, le débouché total le plus petit possible, 0^{m.c.},0128 en carré par exemple; 4° dans l'oxford-clay , au plus , 0^{m.c.},30 par kilomètre carré. Ainsi, dans une vallée ayant 50 kilomètres carrés de surface , on aurait les débouchés suivants : dans le granite à grandes pentes et boisé , de 20 à 25 mètres carrés ; dans le lias ou les granites déboisés à faibles pentes , 75 mètres carrés ; dans les terrains oolitiques inférieurs , 0^{m.c.},64 ; dans l'oxford-clay , au plus 15 mètres carrés. Lorsqu'une vallée est ouverte partie dans les terrains oolitiques inférieurs, et partie dans les terrains des autres catégories , il est évident qu'on ne doit pas tenir compte des premiers dans le calcul du débouché. En général, dans une localité donnée, on peut , pour chaque nature de terrain, diviser la plus grande section mouillée des ponts existants par la

(1) On suppose ici que le pont à construire ne doit recevoir que des eaux pluviales.

S'il existait une source abondante en amont , le débouché pourrait être considérablement augmenté.

surface d'amont des versants, et obtenir ainsi des coefficients analogues à ceux que j'indique ci-dessus, qui serviront à déterminer les débouchés des petits ponts, comme je viens de le faire. Je suis convaincu que pour chaque arrondissement d'ingénieur le nombre de ces coefficients se réduirait à trois ou quatre.

Vallées plus étendues.

10. Dans les vallées plus étendues, il est impossible de donner une règle fixe ; mais on trouve presque toujours des ponts sur les cours d'eau, soit à l'amont, soit à l'aval du point où l'on veut construire. Pour le débouché cherché, on pourrait ajouter à celui du pont existant ou en retrancher le produit en mètres carrés de l'un des coefficients ci-dessus, par le nombre représentant la quantité de kilomètres carrés de versants situés entre les deux ponts. Toutefois, beaucoup de circonstances peuvent influencer sur le débouché des ponts. Ainsi, le changement brusque de pente qu'éprouve le fond d'une vallée au passage d'un terrain dur à un terrain marneux peu résistant, amène toujours en ce point une grande accumulation d'eau. On conçoit, en effet, que la vitesse étant beaucoup plus grande sur la pente rapide, il faut sur la pente faible une section mouillée beaucoup plus considérable pour que le débit reste le même. L'eau s'accumule donc au point d'intersection des pentes, jusqu'à ce que la section soit devenue assez grande pour débiter toute la masse. Il s'établit par conséquent à la surface une pente plus grande que celle du fond, et si cette dernière est uniforme, la section mouillée va cesser en diminuant. Il résulte de là qu'il faut souvent, à une grande distance en aval, un pont plus petit que celui établi au changement de pente. Dans ce cas, il est impossible d'établir une règle fixe pour la détermination du débouché ; nous allons le prouver par un exemple. La pente de la Cure, à la rencontre des terrains oolitiques inférieurs, en amont d'Arcy, est extrêmement rapide (plus de 0^m,001 par mètre). Plus bas on rencontre l'oxford-clay, et la pente devient beaucoup plus faible (moins de 0^m,0006). Il y a donc à cette rencontre accumulation d'eau qui se fait sentir jusqu'au pont de Bessy. Aussi la hauteur de la crue du 5 mai 1836 a été de 5 mètres au-dessus de l'étiage en amont du pertuis d'Arcy, et de 4 mètres en aval (1) ; mais, à partir de là, la hauteur des crues diminue rapidement. Ainsi, à Accolay, à 10 kilomètres en aval d'Arcy, quoique la largeur de la vallée n'ait

(1) Il y a rapide au bas du pertuis d'Arcy.

pas varié, la hauteur de la crue du 5 mai 1836 était réduite à 3 mètres au-dessus de l'étiage. Comparons maintenant la section mouillée du pont de Bessy à celle du pont d'Auxerre : le jour de la crue précitée, la section mouillée du pont de Bessy et des arceaux de décharge contigus était de 213 mètres carrés; la même crue occupait au pont d'Auxerre, où la Cure et l'Yonne sont réunies, une surface de 282 mètres seulement. Cette faible différence entre les deux débouchés s'explique par la diminution de la section mouillée des vallées à mesure qu'on s'éloigne de l'origine des pentes faibles, ou en d'autres termes parce qu'à mesure qu'on s'éloigne de l'origine d'une pente continue, la masse d'eau totale d'une crue met un temps beaucoup plus long à s'écouler.

11. *Tracé des canaux.* — D'après ce qui a été dit plus haut (voir 4), les terrains dont il est ici question ne sont point également favorables à l'établissement des canaux. Il faut éviter, autant que possible, les calcaires oolitiques inférieurs qui rendent l'alimentation d'un canal très difficile, ainsi que le prouve la partie du canal de Bourgogne comprise dans la vallée de l'Ouche en amont de Dijon, et dans la vallée de l'Armançon, en amont de Tonnerre. L'eau des divers biefs compris dans ces deux vallées baisse avec une incroyable rapidité. Quelques uns de ceux de la vallée de l'Ouche, dont le plafond est à peu près au niveau de l'étiage de la rivière, donnent lieu à un singulier phénomène. Il s'est établi des renards entre le canal et la rivière, de telle sorte que le niveau des deux cours d'eau s'élève et baisse simultanément. Les terrains granitiques lorsqu'ils ne sont pas trop abruptes, et le lias lorsque la pente transversale est faible, sont très favorables à l'établissement des canaux, en raison de leur imperméabilité. L'oxford-clay renferme des parties très absorbantes; ce sont celles où les bancs calcaires se touchent presque sans interposition d'argile. Mais, en général, ce terrain, quoique bien inférieur sous ce rapport au lias, peut, sans grands inconvénients, recevoir un canal.

12. *Observations sur les moyens d'étanchement des canaux.* — Il peut se faire que dans la construction d'un grand canal (comme le canal de Bourgogne, par exemple), on soit forcé de traverser des masses calcaires de la nature des terrains oolitiques inférieurs. Alors on doit s'attendre à de grandes pertes d'eau, et par conséquent à des travaux d'étanchement considérables. Parmi les moyens connus pour arrêter les filtrations, le plus simple et le moins dispendieux consiste à introduire dans les biefs perméables une certaine quantité d'eau boueuse. Un ingénieur allemand, M. le baron

Pechmann, regarde ce procédé comme infaillible (*Annales des ponts et chaussées*, 2^e semestre 1841, p. 18). Je crois que dans les terrains oolitiques il serait complètement inefficace, et voici sur quoi je base mon opinion : le Serein, la Seine et l'Ource roulent constamment, après les pluies d'automne, des eaux plus ou moins boueuses ; de plus, dans la vallée de l'Ource et de la Seine, avant 1830, le lavage du minerai de fer introduisait dans ces rivières, en amont de Brion et de Châtillon, une énorme quantité de vase, et cependant ce moyen d'étalement naturel n'a pu jusqu'à présent rendre imperméables les lits de ces trois cours d'eau qui se perdent complètement à l'étiage en amont de Noyers, Châtillon et Brion (*voir la note C*). Je crois devoir renvoyer aux traités spéciaux pour ce qui concerne les détails d'emploi des divers procédés d'étalement connus.

13. *Des réservoirs d'alimentation.* — C'est surtout pour l'établissement des réservoirs d'alimentation des canaux qu'il importe d'étudier la nature du sol. Dans le choix de leur emplacement on doit toujours éviter les terrains oolitiques inférieurs, dont les versants ne donneraient qu'une quantité d'eau insignifiante, et absorberaient celle qui pourrait venir des terrains d'une autre nature situés en amont (*voir la note C*). Il existe dans l'oxford-clay, près de Châtillon, plusieurs étangs qui paraissent assez bien tenir l'eau. On peut donc établir, dans les parties marneuses de cette formation, des réservoirs qui devront toujours être alimentés, soit par une grande surface de terrain en amont, soit par des sources abondantes. Les meilleurs terrains, sans contredit, sont le lias et le granite. Il ne faut, pour l'alimentation, que de faibles surfaces. Ainsi, la surface de la vallée de la Brenne, en amont du réservoir de Gros-Bois (canal de Bourgogne), mesurée sur la carte de Cassini, est seulement de 30 kilomètres carrés ; la capacité du réservoir est de 8,000,000 mètres cubes, et il est probable que les eaux tombées en amont suffiraient pour le remplir plus d'une fois chaque année. Le lias, en raison de sa nature argileuse, présente d'assez grandes difficultés pour l'établissement des fondations des barrages en maçonnerie. La nature du sol se prête bien à la construction des barrages en terre revêtus de perré qui doivent être préférés. Dans les granites, les vallées présentent à chaque pas des étranglements éminemment favorables à l'établissement des barrages en maçonnerie.

14. *Des canaux d'irrigation.* — Les terrains oolitiques, si l'on excepte les parties les plus marneuses de l'oxford-clay, ne sont point propres à recevoir des canaux d'irrigation. En effet, ces canaux

étant en général soutenus à une assez grande élévation au-dessus des vallées, convertiraient en marais, par suite de la grande perméabilité du sol, tous les terrains inférieurs. En outre, leur alimentation exigerait une grande quantité d'eau. On peut donc admettre qu'en général, dans les terrains oolitiques, les canaux d'irrigation seraient plus nuisibles qu'utiles, et auraient le grave inconvénient de produire des marais. De là découle le principe suivant : Dans les terrains oolitiques, il ne peut exister de prairies naturelles que dans le fond des vallées, et seulement sur les points accessibles aux crues des cours d'eau; principe parfaitement justifié par les faits dans les terrains que je connais. Dans le lias et le granite, au contraire, les canaux d'irrigation s'établissent avec la plus grande facilité, et comme la plus légère source, les eaux pluviales même suffisent dans ces terrains pour établir des prairies, on peut admettre encore le principe suivant : Dans le lias et le granite, les prairies naturelles peuvent exister à toute hauteur au-dessus du fond des vallées (voir 34, chapitre V).

15. *De la régularisation du débit des rivières.* — Quelques ingénieurs admettent que le reboisement est le moyen le plus efficace d'obtenir la régularisation du débit des rivières (voir, sur ce sujet, un article de M. Dausse, *Annales des ponts et chaussées*, 1^{er} semestre 1842, page 184). Tout en reconnaissant que le reboisement peut avoir un bon effet en diminuant les produits de l'évaporation et en augmentant le produit des pluies, je ne puis admettre qu'il produirait le résultat qu'on en espère. Je pourrais citer un grand nombre de rivières dont les versants sont très boisés, et qui sont loin d'avoir un régime régulier. Je renverrai d'ailleurs à la note E, où le fait se trouve démontré d'une manière évidente. Les forêts peuvent être utiles dans tous les climats trop secs, pour augmenter les produits de la pluie. Reste à savoir si la région moyenne de la France, dont il est question ici, peut être considérée comme un climat sec. Mais pour ce qui concerne la régularisation des cours d'eau, il est parfaitement certain qu'on ne gagnerait rien à planter en bois les terrains absorbants, puisqu'on n'obtiendrait par ce moyen, en retardant la marche de l'eau, d'autre résultat que de rendre l'absorption plus complète. C'est ce que prouve le sol des forêts de la grande oolite, qui est tout aussi sec que celui des parties en culture.

16. D'après ce qui a été dit plus haut, on doit admettre que, pour améliorer une rivière, il faut agir seulement sur les terrains non absorbants, en cherchant : 1^o à diminuer, s'il est possible, les produits de l'évaporation et à arrêter la marche des alluvions,

2° à régulariser le débit des eaux qui atteignent le fond des vallées. Pour diminuer les pertes produites par l'évaporation et arrêter la marche des alluvions, il faut agir directement sur les versants des vallées où tombe la pluie.

17. *Des opérations à faire sur les versants des vallées.* — Les bois surtout, et les prés jusqu'à un certain point, peuvent diminuer les produits de l'évaporation; pour arrêter la marche des alluvions, les prairies naturelles sont aussi efficaces que les bois (voir la note F).

18. *Lias.* — Sur aucun terrain le mouvement des alluvions n'a un effet aussi pernicieux qu'à la surface des terrains liasiques. Je ne parle pas seulement des grands ravins qui s'y produisent de distance en distance, mais des dégradations générales causées par les eaux pluviales, qui enlèvent à chaque sillon la terre la plus fertile pour la transporter au fond des vallées, où presque toujours elle produit, momentanément au moins, de grands dommages en remplissant les rivières et en souillant les prairies. Le reboisement de ces terrains serait une mauvaise opération. En effet, leur valeur vénale actuelle est de 1,000 à 3,000 francs l'hectare (je parle des terres labourables seulement), et les meilleurs fonds de bois ne se vendent pas 1,000 francs l'hectare. Mais les terrains liasiques jouissent de la précieuse faculté de pouvoir être convertis en prairies naturelles avec le simple secours des eaux pluviales (voir le chap. V), et, comme nous l'avons dit, les prés arrêtent les alluvions aussi bien que les bois, et diminuent sensiblement les produits de l'évaporation. Il serait de la plus grande importance, dans l'intérêt de l'agriculture locale, dans l'intérêt général des riverains des rivières dont les produits sont si souvent gâtés par les eaux boueuses des crues, de convertir en prairies toutes les pentes liasiques un peu étendues. Les efforts réunis des propriétaires et du gouvernement doivent tendre à obtenir ce résultat, qui doublerait la valeur vénale du sol (voir encore 34, chap. V).

19. *Granites.* — Les terrains granitiques du Morvan, qui forment une pointe dans l'angle S.-O. du bassin de la Seine, sont extrêmement boisés. On peut donc juger de l'effet utile que les bois produisent en diminuant la puissance de l'évaporation et le mouvement des alluvions. Ainsi que nous l'avons déjà dit, la surface des granites est couverte d'une multitude de fissures irrégulières, et il est important de retarder autant que possible le mouvement des eaux pour favoriser leur introduction dans ces petits réservoirs qui alimentent les nombreuses sources superficielles de cette nature de terrain. Les bois sont excellents pour cela, et de plus ils détruisent

l'action des rayons solaires qui , dans les parties dénudées , dessèchent promptement tous ces légers suintements. Les terres labourables granitiques ayant peu de valeur, il peut être avantageux de les convertir en bois (voir 35, chap. V, paragraphe relatif aux reboisements). Cependant les terrains dont la surface est régulière et n'est pas hérissée de rochers peuvent être avantageusement convertis en prairies. Mais les eaux pluviales ne suffiraient qu'à donner de maigres pâtures; il faut donc faire usage des ruisseaux que les sources superficielles entretiennent dans chaque pli de terrain (voir 34 , chap. V). Les barrages des usines peuvent aussi, dans certains cas, opposer un obstacle utile à la marche des alluvions (voir la note G).

20. *Des travaux à faire dans le fond des vallées.* — J'ai dit que le reboisement me semblait inefficace pour régulariser les cours d'eau, c'est-à-dire pour rapprocher autant que possible le débit de l'étiage et celui des plus fortes crues du débit moyen. On en aura la preuve dans la note E, où des jaugeages faits de quinze jours en quinze jours dans une vallée granitique entièrement boisée donnent des variations énormes, suivant que la quinzaine est sèche ou pluvieuse. La vallée granitique du Cousin, une des plus boisées du bassin de la Seine, en est une autre preuve. Une pluie de vingt-quatre heures y produit une crue assez forte; une sécheresse de quinze jours ramène le débit à l'étiage, et, dans les années sèches, il est probable que la rivière cesserait de couler, si elle n'était alimentée par les nombreux étangs du Morvan. J'ai fait voir d'ailleurs (18 et note F) que le reboisement serait, dans le lias, une déplorable opération financière pour le propriétaire dont l'immeuble, rendu improductif pendant vingt ou trente ans, serait, à l'expiration de ce délai, dans certaines circonstances, déprécié de la moitié ou des deux tiers de sa valeur primitive. S'opposer au déboisement lorsque cette opération doit doubler ou tripler la valeur du fond, est un acte de rigueur qui ne peut être admis qu'en cas d'absolue nécessité, surtout si l'immeuble doit être converti en prairie. On n'obtiendra donc jamais dans le lias que des reboisements insignifiants; on n'opposera au déboisement de ce terrain qu'une résistance qui sera promptement vaincue par le bon sens des administrateurs. Les granites du Morvan sont presque tous boisés; ce n'est donc point à ce genre d'amélioration, d'ailleurs inefficace, que doivent tendre les efforts de l'administration. Pour arrêter les alluvions, nous avons vu qu'il fallait agir sur les versants des vallées. Nous allons démontrer qu'on peut jusqu'à un certain point diminuer les crues et améliorer le débit de l'étiage en

agissant sur le fond des vallées. Écartons d'abord les vallées ou fractions de vallées entièrement oolitiques, qui n'ont aucune action sur les crues. Les travaux, dans certains cas, doivent être à la charge des particuliers, et, dans d'autres, être exécutés par l'État.

21. *Travaux à la charge des particuliers.* — Je suppose un vallon granitique ou liasique d'une superficie peu étendue, 20 kilomètres carrés, par exemple. D'après le relevé des udomètres du canal de Bourgogne, la plus grande hauteur d'eau tombée dans un seul orage a été de 0^m,05 ou de 50,000 mètres cubes par kilomètre carré; soit enfin de 1,000,000 de mètres cubes pour la vallée qui nous occupe. Admettons, comme je l'ai démontré plus haut (5), que les pertes par l'évaporation, l'imbibition de la couche superficielle, etc., soient d'environ 50 p. 100. Le produit de la crue qui peut atteindre le fond de la vallée serait réduit à 500,000 mètres cubes. Cette quantité d'eau débitée en trois ou quatre heures n'est pas de nature à produire crue dans une rivière importante. Ainsi l'État, dans l'intérêt général, n'est pas tenu d'agir directement sur un petit cours d'eau. Mais il n'en est pas de même des propriétaires du fond de la vallée, qui sont exposés à voir leurs récoltes perdues à la plus faible crue du printemps (c'est-à-dire tous les deux ou trois ans dans le lias et les granites).

22. Autrefois les petites vallées granitiques du Morvan étaient toutes préservées par une multitude d'étangs où les crues venaient s'emmagasiner; dans la partie supérieure des vallées, où le terrain a peu de valeur, il existe encore un grand nombre de ces étangs. Les plus importants servent presque toujours de biefs à des moulins qui marchent d'une manière continue pendant les sécheresses, et alimentent ainsi les petits cours d'eau situés en aval, qui sans cela seraient promptement mis à sec; mais, depuis quelques années, la conversion des étangs en prairies a pris beaucoup d'extension, et on en a desséché un grand nombre. C'est là un grand mal, bien autrement désastreux que le déboisement, et qu'il faudrait arrêter promptement, en donnant à l'administration les pouvoirs nécessaires (4). Il faudrait aussi encourager le rétablissement des anciens étangs, dont les digues existent toutes encore, et la création de nouvelles retenues, surtout en amont de riches prairies. C'est la

(4) Il est vraiment singulier que l'administration, qui, avec raison, empêche l'établissement d'une retenue d'eau lorsqu'elle peut nuire au moindre des riverains, ne puisse s'opposer à la destruction d'un étang, qui, dans certains cas, préserve les récoltes d'immenses prairies d'une ruine certaine.

seule méthode certaine de régulariser le petit cours d'eau dans les terrains granitiques.

23. Mais dans le lias et les marnes supra-liasiques, sans doute par suite du prix élevé des terrains, il existe peu d'étangs, et il ne serait pas prudent d'en établir un grand nombre, en raison de la grande quantité de vase qui s'y rassemblerait et de l'insalubrité qui pourrait en résulter pour le pays (voir la note H). Cependant ces terrains, par cela même qu'ils sont très fertiles, ont besoin d'un préservatif. Combien n'y voit-on pas de riches prairies qu'un faible ruisseau couvre tous les deux ou trois ans, au moment des récoltes, d'un torrent d'eau et de boue ! Le moyen d'arrêter ce fléau serait bien simple. Il suffirait, en effet, de construire en amont de la prairie une digue d'étang avec des moyens de décharge tels que, dans les saisons où les crues n'ont aucun inconvénient, l'eau s'écoulât sans difficulté et sans former d'amas ; mais au printemps et jusqu'au moment des récoltes, toutes les issues seraient fermées, à l'exception d'une vanne de fond assez grande pour laisser échapper les eaux ordinaires, mais insuffisante pour l'écoulement des crues dès qu'elles deviendraient dangereuses. On perdrait sans doute les récoltes sur une certaine étendue en amont ; mais, en établissant la digue avec intelligence, cette perte serait infiniment moindre que celle d'aval qui aurait eu lieu sans cela.

24. Dans l'état actuel de notre législation sur les cours d'eau, la réalisation des améliorations que je signale serait sans doute bien difficile, et rencontrerait de nombreux obstacles, même de la part des propriétaires intéressés. Chacun reconnaît aujourd'hui l'insuffisance et les inconvénients de cette législation, et nous ne voyons pas pourquoi, lorsque par une étude consciencieuse, des enquêtes, etc., on aurait reconnu qu'un ruisseau dangereux peut être maîtrisé par l'établissement de deux ou trois barrages, on ne pourrait pas forcer, par un règlement d'administration publique, les propriétaires intéressés à faire les dépenses d'établissement de digues et les acquisitions de terrains nécessaires, dût-on recourir à l'expropriation.

25. *Des travaux à exécuter par l'État.* — Lorsque la navigation des fleuves, les immenses prairies qui les bordent, des parties de villes submersibles, etc., nécessitent la régularisation du débit d'un cours d'eau, il semble juste que les travaux soient à la charge de l'État.

Considérons, par exemple, une vallée de 100 kilomètres superficiels. En admettant, comme ci-dessus, que les crues *maxima* soient de 25,000 mètres cubes par kilomètre superficiel, le produit

total de la vallée sera de 2,500,000 mètres cubes. Une semblable crue ne se reproduira peut-être qu'une ou deux fois par siècle. Mais elle n'en sera que plus dangereuse, et pour les plantations qui auront crû dans l'intervalle, et pour les propriétaires imprévoyants qui oublient si vite les grandes catastrophes. En outre, une multitude de crues moyennes causent périodiquement d'affreux ravages dans les récoltes sur une grande étendue. Des réservoirs du même genre que ceux qui servent à l'alimentation des canaux seraient un moyen très efficace de remédier au mal, au moins pour les propriétés d'aval. En effet, admettons que l'État construise, à l'issue de la vallée dont il s'agit, un réservoir occupant une superficie de 100 hectares. Je dis qu'en donnant à la digue une élévation de 2^m,50 au-dessus du niveau ordinaire, on sera maître des plus fortes crues. En effet, la superficie du réservoir étant de 100 hectares ou de 1 million de mètres carrés, un semblable surhaussement augmentera la capacité de 2,500,000 mètres cubes; de sorte que la plus forte crue pourra s'y emmagasiner, et qu'on la fera ensuite écouler à loisir et sans danger (1). En admettant les mêmes hypothèses, il faudrait deux réservoirs pour une vallée de 200 kilomètres superficiels, trois pour une vallée de 300 kilomètres superficiels, et ainsi de suite, en s'arrêtant aux terrains absorbants, ou à l'origine des parties navigables ou flottables. Par ces réservoirs échelonnés, on se rendrait complètement maîtres des plus fortes crues, et, en outre, au moyen des hautes eaux ordinaires, on formerait, dans l'intérêt de la navigation, des usines, des terrains irrigables, un immense approvisionnement d'eau qui serait utilisé à l'étiage. M. Chanoine, ingénieur en chef à Sens, a déjà dressé un semblable projet de réservoirs échelonnés, dont l'exécution régulariserait le débit des rivières du Serein et du Cousin.

26. Ces ouvrages coûteraient beaucoup moins à établir que ceux du même genre exécutés pour les canaux. Comme on ne serait pas gêné par le niveau d'un point de partage, on pourrait choisir les localités les plus favorables à l'établissement des digues, par exemple, les étranglements des vallées, si fréquents dans les terrains granitiques et liasiques.

(1) Les faibles crues d'hiver se succèdent quelquefois presque sans interruption. Mais dans la vallée de la Seine, elles présentent rarement de grands inconvénients, et on peut les laisser s'écouler sans danger.

CHAPITRE VI. — APPLICATION DES IDÉES QUI PRÉCÈDENT
AU BASSIN DE LA SEINE EN AMONT DE PARIS.

27. M. l'ingénieur en chef Dausse annonce que la quantité moyenne d'eau qui tombe annuellement sur les 44,000 kilomètres carrés, formant le bassin de la Seine en amont de Paris, est de 28 milliards de mètres cubes, et que la fraction qui passe sous les ponts de Paris est seulement de 8 milliards de mètres cubes. Il attribue à l'évaporation la perte de 20 milliards de mètres cubes, formant la différence entre les deux nombres. Je ne pense pas que cette opinion soit exacte. En effet, j'ai cité (5) des observations rapportées par M. Minard, desquelles il résulte que dans un terrain marneux entièrement déboisé, les pertes se sont élevées aux $\frac{44}{100}$ de l'eau tombée, et évidemment le produit de l'évaporation ne peut dépasser ce chiffre. Il est probable que, pour l'ensemble du bassin de Paris, où il existe encore d'immenses forêts, ce rapport est beaucoup trop fort. Ainsi l'évaporation enlève sur le bassin d'amont de Paris un cube d'eau au plus égal aux $\frac{44}{100}$ du cube tombé, ou à 12 milliards de mètres cubes environ.

28. Les 8 milliards restants sont, suivant moi, absorbés par le sol, et on en sera convaincu si l'on observe : 1° que les terrains oolitiques, qui donnent si peu d'eau aux rivières, occupent une superficie de 8,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire le cinquième environ du bassin en amont de Paris; 2° que la formation de la craie blanche, qui est aussi très absorbante, occupe également dans ce bassin une superficie considérable; 3° que les diverses formations géologiques du faite de la Bourgogne à Paris sont disposées les unes au-dessus des autres, à niveau décroissant, c'est-à-dire que la plus basse dans l'échelle géologique est la plus rapprochée du faite de partage; qu'ainsi, à mesure qu'on se rapproche de Paris, il y a moins de chances pour que les eaux infiltrées en amont se fassent jour par des jets artésiens, puisque la masse qui les recouvre va sans cesse en augmentant d'épaisseur. Il semble donc incontestable que ces eaux soient perdues pour la navigation en amont de Paris.

29. Ainsi les 28 milliards de mètres cubes d'eau qui tombent annuellement sur le bassin de la Seine en amont de Paris se subdivisent ainsi : 1° 8 milliards passant sous les ponts; 2° 12 milliards au plus absorbés par l'évaporation; 3° 8 milliards au moins absorbés par le sous-sol. Tout le monde est d'accord sur un point, à savoir, qu'il faudrait régulariser autant que possible le débit du premier cube, en diminuant la hauteur des crues et en augmentant

celle de l'étiage. Il est évident encore qu'on ne doit chercher à diminuer le produit de l'évaporation qu'autant que le débit régularisé du plus bas étiage de la Seine serait insuffisant. Quant au troisième cube, il est hors de la puissance de l'homme d'en pouvoir disposer.

Enfin, je pense qu'il serait aussi de la plus haute importance d'arrêter la marche des alluvions qui viennent encombrer le lit des rivières, perdre les récoltes, former des barres à l'embouchure des fleuves, etc. Si le débit de la masse d'eau qui passe sous les ponts de Paris était rendu complètement régulier, le produit par seconde serait de 260 mètres cubes, environ trois fois et demie plus fort que celui de l'étiage actuel; il serait plus que suffisant, et il serait inutile de chercher à diminuer les produits de l'évaporation. Ainsi le problème à résoudre, le seul dont je m'occuperai, se décompose naturellement en deux parties : 1^o arrêter la marche des alluvions; 2^o régulariser le débit de la masse d'eau qui passe sous les ponts de Paris.

30. *Superficie des terrains sur lesquels il faut agir pour arrêter les alluvions.* — Les terrains granitiques et jurassiques occupent, dans le bassin de Paris et dans les départements de la Nièvre, de l'Yonne, de la Côte-d'Or, de l'Aube et de la Haute-Marne jusqu'à Chaumont, une superficie de 11,000 kilomètres carrés, savoir :

8,000	kilomètres superficiels de terrains oolitiques ;
4,400	<i>id.</i> de granite ;
1,600	<i>id.</i> de lias.

Il n'y a rien à faire dans les terrains oolitiques qui donnent peu d'alluvions. Les rivières qui coulent entièrement dans ces terrains sont, à l'étiage, très limpides, et, dans les crues, peu chargées de matières en suspension; la couleur de leurs eaux en masse est le bleu azur. Les terrains granitiques sont en grande partie boisés ou couverts de prairies et de pâturages : aussi leurs eaux sont limpides à l'étiage; dans les crues, elles deviennent plus ou moins louches et charrient, en petite quantité, des galets (en raison de la forte pente des vallées) et des sables provenant de la décomposition de ces galets. Quoique limpides, les eaux granitiques en masse paraissent colorées en bistre très foncé. Les alluvions qui se déposent chaque jour dans la partie supérieure du bassin de la Seine qui nous occupe, proviennent donc presque toutes des 1,600 kilomètres carrés liasiques. Les eaux des rivières qui traversent ces terrains sont, en effet, toujours louches à l'étiage, et très chargées de vase dans les

crues. Dans l'état actuel des choses, les terrains liasiques en question sont à peu près déboisés. Un peu plus du tiers de leur surface est occupé par des prairies; le reste, ou 1,000 kilomètres carrés, par des terres labourables. J'ai dit (17, 18 et 34) que le meilleur moyen d'empêcher le déplacement de la couche superficielle de ces 1,000 kilomètres carrés consisterait à convertir en prairies toutes les parties à fortes pentes, ou qui reçoivent les eaux des vastes plateaux si communs dans le calcaire à Gryphées arquées. Ces 1,000 kilomètres carrés, ou 100,000 hectares, peuvent être estimés, à l'état de terre labourable, à raison de 1,500 francs l'hectare en moyenne, ou ensemble à 150,000,000 francs; convertis en prairies, ils vaudraient au moins 3,000 francs l'hectare, soit 300,000,000 francs. L'opération est donc excellente. Le plus grand obstacle à sa réalisation est le morcellement excessif de la propriété. La loi sur les irrigations permettra peut-être de le vaincre en partie.

34. *Régularisation du régime des cours d'eau.* — Les principaux bassins liasiques sont les suivants (1) : 1° la vallée de l'Yonne et ses affluents, en amont de Clamecy, jusqu'à un point situé un peu en aval des aqueducs de Moreuillon; 2° une faible partie de la vallée de la Cure, entre Cure et Asquins (bassin de Vézelay); 3° la rive droite du Cousin, entre Cussy-les-Forges et Sermizelles (bassin d'Avallon); 4° sur le Serein, le bassin de Mont-Saint-Jean, le plateau d'Époisses (rive droite), tout le fond de la vallée entre Toutry et Lisle, sur le Serein; 5° tous les vastes plateaux de l'Armançon, depuis sa source jusqu'à Quincy, près Montbard, à l'exception des ravins de Semur, dont le fond est granitique, et de quelques sommets occupés par le calcaire à Entroques; 6° les vallées de la Brenne et de ses divers affluents en amont de Buffon, tels que l'Oze, l'Ozerain, le ruisseau de Darcey, le Rabutin, la fontaine de Lormes, etc.; 7° une bande très étroite de la vallée de la Seine et de ses affluents en amont d'Aisay-le-Duc; 8° une bande également très étroite des vallées de l'Ource, de l'Aube, de l'Aujon, de la Marne et de leurs affluents dans la partie supérieure de leurs cours, occupée par les marnes liasiques, ou une couche mince de calcaire à Entroques. La partie liasique des vallées de la Seine, de l'Ource, de l'Aube, l'Aubette et l'Aujon, est très peu étendue, si on la compare à celle des vallées qui précèdent. Les

(1) On ne doit pas perdre de vue ici que je comprends dans le lias les marnes supra-liasiques, qui, dans la carte géologique de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, sont comprises dans l'étage oolitique inférieur.

principaux bassins granitiques sont : 1° la vallée de l'Yonne jusqu'à un point situé un peu à l'aval de Montreuillon ; 2° celle de la Cure jusqu'à Saint-Père, sous Vézelay ; 3° celle du Cousin, en amont du Vault, près d'Avallon ; 4° celle du Serein, entre Lamotte (près Saulieu) et Toutry ; 5° celle de l'Armançon (seulement le fond) aux abords de Semur. Toutes ces vallées ont un nombre prodigieux d'affluents à versants granitiques, qu'il est impossible d'énumérer. Voici quelques indications sur le régime actuel de ces rivières dans la traversée des terrains granitiques et jurassiques.

Régime des hautes eaux. — L'Yonne, la Cure, le Cousin, le Serein, l'Armançon et la Brenne, qui ont des versants liasiques et granitiques d'une étendue considérable, sont soumises à des crues très fréquentes et très fortes. La Seine, l'Ource, l'Aube, l'Aujon, etc., ayant des versants presque entièrement oolitiques, sont beaucoup moins redoutables, leurs crues sont moins élevées, mais surtout bien moins fréquentes, et cependant, grâce à l'imprévoyance des riverains, elles produisent des résultats presque aussi funestes que dans les vallées imperméables. Ainsi la Seine, en amont de Châtillon, a la même longueur de cours à peu près que la Brenne, en amont de Montbard ; mais elle a trois ou quatre fois moins d'étendue de versants liasiques. Les habitants ne se sont pas montrés plus prudents dans une ville que dans l'autre ; le lit de la Seine, à Châtillon, est trois ou quatre fois moins large que celui de la Brenne à Montbard. Les deux rivières, ne trouvant pas un débouché suffisant, inondent, dans les crues, les parties basses des deux villes. J'ai signalé dans la note G la différence curieuse qui existe dans les ouvrages de décharge des usines anciennes, suivant que la rivière coule dans des terrains absorbants ou imperméables. Ainsi les usines de l'Yonne, de la Cure, du Serein, de l'Armançon, de la Brenne et de leurs affluents, ont toutes d'immenses déversoirs et des vannes de décharge insignifiantes. Sur les autres rivières, les déversoirs ont peu d'importance, et toutes les crues s'écoulent par les vannes de décharge. Dans le premier cas, il fallait ménager une issue aux crues subites, qui souvent ne laissent pas le temps de lever les vannes de décharge ; dans le second, l'usinier, même négligent, a toujours le temps de lever ses vannes avant que la crue lui ferme le passage.

Régime de l'étiage. — La vallée de l'Yonne, en amont de Clamecy, est ouverte en partie dans les terrains liasiques couronnés par les terrains oolitiques ; aussi la nappe d'eau qui existe toujours entre ces deux formations donne-t-elle naissance à de nombreux

affluents qui soutiennent bien l'étiage (n° 6). Les vallées de la Cure et du Cousin, en amont de leur confluent, sont presque entièrement ouvertes dans les terrains granitiques; les sources, quoique très nombreuses, y sont peu importantes; aussi une sécheresse de quelques jours fait promptement baisser les eaux, et sans les nombreux étangs du Morvan, le Cousin principalement cesserait souvent de couler. Le Serein et l'Armançon, en amont de Lisle et de Quincy, coulent dans des terrains granitiques ou liasiques assez rarement couronnés par les terrains oolitiques; les nappes d'eau y sont peu abondantes, et l'étiage de ces rivières est extrêmement faible. L'étiage de la Brenne est mieux soutenu, parce que les vallons secondaires de la rive droite, en amont de Montbard, sont tous ouverts dans les terrains liasiques couronnés par le calcaire à Entroques et, par conséquent, sont alimentés par la belle nappe d'eau qui se trouve à la séparation de ces deux formations (n° 6). Il en est de même de la Seine, de l'Ource, de l'Aube, etc., en amont d'Aisay-le-Duc, Lugny, etc.; le fond des vallées est occupé par des terrains liasiques ou une faible couche de calcaire à Entroques facilement percée par des jets artésiens; aussi une multitude de petits ruisseaux soutient bien l'étiage en amont des terrains oolitiques; mais dans la traversée de ces derniers terrains, le débit de tous les cours d'eau diminue rapidement et se réduit même souvent à rien (n° 7).

32. Toutes les rivières ci-dessus désignées ayant une partie de leurs versants dans les terrains liasiques ou granitiques, sont soumises à des crues plus ou moins dangereuses. Voyons quels seraient les travaux à faire par l'État pour régler leur régime.

L'Yonne et la Cure. — Les parties liasiques et granitiques des versants de l'Yonne et de la Cure ont une étendue de 1,300 kilomètres carrés, c'est-à-dire presque égale à la moitié des terrains imperméables qui nous occupent. Malheureusement ces deux rivières sont sounises, dans la partie supérieure de leur cours, au flottage à bûches perdues. Il serait donc difficile de leur appliquer les moyens de régularisation indiqués ci-dessus (n° 25). Cependant M. l'ingénieur en chef Chanoine a projeté, dans la Haute-Cure, un barrage destiné à convertir en réservoir l'immense plaine des Seytons. On pourrait sans doute améliorer considérablement le régime des deux rivières, en établissant des réservoirs semblables sur leurs affluents non flottables.

Le Cousin et le Serein occupent une étendue de terrain liasique ou granitique de 800 kilomètres carrés; dans les hypothèses ad-

mises au n° 25, il faudrait huit réservoirs pour régulariser complètement leur régime. M. l'ingénieur Chanoine en a projeté cinq. Ce nombre nous semble insuffisant.

L'Armançon et la Brenne occupent, avec leurs affluents, une superficie de terrains granitiques, mais surtout liasiques, de 600 kilomètres carrés. Six réservoirs seraient donc nécessaires. Il en existe déjà un (1) (le réservoir de Gros-Bois).

La Seine, l'Ource, l'Aube et l'Aubette. — Le fond seul de la partie supérieure de ces vallées étant liasique, il est bien difficile, même sur une bonne carte, d'apprécier approximativement la surface de cette nature de terrain ; je crois être au-dessus de la vérité en l'évaluant à 300 kilomètres superficiels. Il faudrait donc pour ces vallées un certain nombre de réservoirs ayant ensemble 300 hectares de superficie.

L'Ajon et la Marne. — Je ne connais pas la partie supérieure du cours de ces rivières. Je ne puis fixer l'étendue de leurs versants liasiques.

33. Ainsi, pour obtenir la régularisation des cours d'eau du premier quart du bassin de la Seine, en amont de Paris, il faudrait : 1° convertir en prairies tous les terrains fortement inclinés dans les 1,000 kilomètres superficiels de formation liasique, aujourd'hui à l'état de terres labourables ; 2° construire un certain nombre de réservoirs ayant ensemble 1,700 hectares de superficie. La première opération doit être à la charge des propriétaires. Elle est tellement lucrative, que beaucoup ont déjà doublé leur fortune par ce procédé (voir la note F). La deuxième doit être à la charge de l'État, et l'on doit vivement désirer l'exécution du projet de M. Chanoine, qui donnera la mesure de l'utilité de ces ouvrages. Si l'on considère combien il intéresse l'agriculture, l'industrie et la navigation, on ne peut s'empêcher de reconnaître combien ce moyen d'amélioration est préférable : 1° aux barrages en rivière destinés à augmenter la profondeur d'eau à l'étiage dans les rivières navigables, barrages qui produisent des intermittences dans le débit de l'eau et ne donnent pas toujours les résultats qu'on en attendait ; 2° aux endiguements des rives qui favorisent les dépôts des alluvions (cours d'eau de l'Italie septentrionale), si on les écarte trop des bords, et augmentent la rapidité de l'eau et par conséquent les désastres des crues, si on les resserre trop.

(1) Il existe aussi dans la vallée de l'Armançon un réservoir (celui de Cerecy), mais beaucoup moins étendu que celui de Gros-Bois.

CHAPITRE V. — APPLICATION DES IDÉES QUI PRÉCÈDENT A L'AGRICULTURE.

34. *Influence du sous-sol sur les différentes cultures.* — Quoique dans ce Mémoire je me sois proposé d'examiner spécialement les questions qui concernent l'art de l'ingénieur, je crois devoir donner ici quelques notions sur les différences qui existent dans les cultures suivant la nature des sous-sols. Le fait fondamental et qui frappe l'observateur le moins attentif, c'est que dans les granites et les terrains liasiques les prairies naturelles existent à toute hauteur au-dessus du fond des vallées, souvent avec le simple secours des eaux pluviales. Dans les terrains oolitiques, au contraire, je ne connais de prairies naturelles que dans le fond des vallées et seulement sur les points accessibles aux crues des cours d'eau, ou assez peu élevés au-dessus pour que la couche de terre végétale soit maintenue dans un continuel état de fraîcheur par le voisinage de l'eau. On remarque également que dans les granites et le lias, une fraction considérable des eaux pluviales s'écoulant à la surface du sol, la couche superficielle la plus fertile, les engrais des terres labourées tendent sans cesse à être entraînés vers le fond des vallées. Le même inconvénient n'existe pas dans les terrains oolitiques, où les eaux pluviales coulent peu à la surface. Enfin, bien que les luzernes et les trèfles végètent très bien dans les terrains argileux du lias, lorsque les agents atmosphériques ne leur sont pas contraires, leur culture est bien plus sûre dans les terrains oolitiques. Le sainfoin ne se plaît ni dans le lias, ni dans le granite; il végète cependant dans les parties pierreuses de la première de ces formations. Il réussit admirablement bien dans les terrains oolitiques. Ainsi, le lias et le granite paraissent éminemment propres à la culture des prairies naturelles, les terrains oolitiques à celle des prairies artificielles. Les propriétaires ont intérêt à convertir en prairies naturelles tous les terrains liasiques ou granitiques ayant une inclinaison assez forte, puisque la couche de terre végétale tend sans cesse à être entraînée par les eaux pluviales. Dans le lias, les eaux pluviales sont souvent suffisantes pour l'irrigation d'une prairie; dans le granite, dont le sous-sol est plus fendillé et la couche de terre végétale plus légère, ce moyen est insuffisant et il faut user de nombreux petits cours d'eau qu'on trouve partout sous sa main dans les dépressions à pentes rapides qui sillonnent les flancs des vallées. Lorsqu'on est parvenu à amener les eaux pluviales ou celles d'un ruisseau au point culminant d'un terrain en pente, il

est facile de le convertir en prairie. Pour cela on fait d'abord disparaître les inégalités produites à la surface, soit par la culture, soit par la disposition naturelle du sol, de manière à avoir partout une courbure horizontale régulière, et à remplir toutes les dépressions où l'eau pourrait séjourner. Cette opération faite, on sème le pré, et, lorsque l'herbe est bien prise, on creuse dans le sol, à diverses hauteurs, des rigoles horizontales disposées à peu près comme les courbes de niveau d'un plan topographique. Ces rigoles doivent avoir au moins 0^m,30 de largeur et de profondeur. Enfin, au bas du terrain une dernière rigole, aussi inclinée que possible, sert de canal de fuite et reçoit les eaux après l'irrigation. Lorsqu'on veut arroser le pré, on introduit l'eau dans la rigole supérieure, de telle sorte qu'elle s'en échappe par déversement, puis dans celle qui suit, puis dans la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière. On a ainsi arrosé toute la surface du pré. Lorsque l'eau est limpide et ne porte pas avec elle de limon, qu'il importe de répandre aussi également que possible sur toute la surface de la prairie, on l'introduit simplement dans la rigole supérieure; de là, après avoir arrosé la première zone de pré, elle retombe dans la deuxième, puis dans la troisième, etc., et arrive ainsi au canal de fuite après avoir arrosé successivement toute la surface du terrain. Je renvoie, pour ce qui concerne la construction des canaux d'irrigation, à l'excellent ouvrage de M. Nadault de Buffon (*Traité théorique et pratique des irrigations*); et pour ce qui concerne la semaille des prés, aux traités spéciaux d'agriculture. La conversion des terres labourables en prairies est presque toujours une très bonne opération, surtout dans les terres liasiques en pente, amaigries depuis longtemps par les eaux pluviales et qui sont devenues impropres à la culture des céréales. Dans l'état actuel des choses, un hectare de terre labourable s'amodie dans les arrondissements de Semur et d'Avallon :

Dans les granites, de.	42 à 30 francs
Dans les lias.	30 à 70

Observons que les terres les moins chères sont celles à forte pente. L'hectare de pré se loue :

Dans les granites, de.	45 à 400 francs.
Dans les lias, de.	75 à 180

La comparaison de ces chiffres avec ceux qui précèdent suffit pour démontrer combien la conversion des terres labourables en prés est avantageuse. A la vérité, il faut, pour faire cette opération,

des déboursés assez considérables, qui peuvent s'élever jusqu'à 300 francs par hectare ; les produits des prés nouveaux sont médiocres pendant huit à neuf ans. Mais les fermiers intelligents ont un tel avantage à l'exécution de ce travail, qu'ils se chargent souvent de tous les frais, pourvu qu'on leur accorde un bail assez long. Je pourrais citer, dans les arrondissements de Clamecy et d'Avallon, un grand nombre de propriétaires qui ont ainsi obtenu d'admirables résultats. Il est parfaitement évident que ce genre d'opération serait très inefficace, sinon impossible, dans les terrains oolitiques : 1° parce que les eaux pluviales sont toutes absorbées par le sol ; 2° parce que les ruisseaux y sont rares, et qu'en raison de cette rareté, chaque cours d'eau doit alimenter, et alimente en effet, de nombreuses usines, et qu'ainsi l'eau y est très chère ; 3° parce qu'enfin les canaux d'irrigation seraient très difficilement rendus étanches, et par leurs infiltrations convertiraient en marais tous les terrains inférieurs. Je ne prétends cependant pas qu'il soit impossible d'arroser une prairie existant au fond d'une vallée oolitique. Lorsqu'on a une quantité d'eau suffisante à sa disposition, l'opération est toujours excellente. Mais elle exige un grand volume d'eau, de sorte qu'il serait difficile de conduire la rigole à de grandes distances sans soulever de nombreuses réclamations. En un mot, en théorie, il n'est sans doute pas impossible de créer, avec un bon cours d'eau, une prairie dans un coteau oolitique ; mais en pratique cette opération sera presque toujours dispendieuse et mauvaise.

Céréales. — Les terrains liasiques peu inclinés sont d'une grande fertilité et produisent beaucoup de blé. Toutefois, dans les étés pluvieux, l'eau qui reste à la surface du sol le ramollit, et le moindre coup de vent suffit pour coucher la récolte. Les terres liasiques étant toujours très fortes, la culture y est difficile ; les pluies qui convertissent le sol en boue, et les chaleurs qui durcissent la croûte argileuse, augmentent encore les frais et les chances des pertes : aussi y a-t-il une énorme différence entre le maximum et le minimum des produits. Les cultivateurs doivent avoir soin de diriger leurs sillons de telle sorte que l'eau s'y écoule bien, mais sans prendre une grande vitesse, afin d'éviter d'une part la pourriture des récoltes, et de l'autre l'amaigrissement des terres. Les sillons ne doivent donc être ni des lignes de niveau, ni des lignes de plus grande pente.

Terrains oolitiques. — Les terrains oolitiques sont moins fertiles que les terrains liasiques ; cependant lorsqu'ils sont bien fumés, et surtout lorsqu'ils sont améliorés par la culture des prairies artifi-

cielles, ils peuvent donner de bons produits en céréales. Dans l'état actuel de la culture, voici à peu près quels sont les produits d'un hectare semé en blé, année moyenne et en tenant compte de la qualité du sol :

Dans le lias. . .	{ Terre de mauvaise qualité, 45 doubles décalitres.
	{ Terre de très bonne qualité, 150 <i>id.</i>
Dans les terrains oolitiques. . .	{ Terre de mauvaise qualité ne produisant point de blé.
	{ Terre à blé de mauvaise qualité, 30 doubles décalitres.
	{ <i>Id.</i> de très bonne qualité, 90 <i>id.</i>

Les terres granitiques du Morvan ne produisent que des seigles, des avoines et du sarrasin. Les produits ci-dessus pourraient être bien plus considérables avec une meilleure culture. L'assolement triennal est à peu près partout en vigueur, et tout le monde sait combien il est contraire à l'amélioration des terres labourables.

Prairies artificielles. — Les granites du Morvan, jusqu'à ce jour, ne produisent guère de prairies artificielles ; cependant quelques essais, couronnés d'un plein succès, prouvent qu'avec des améliorations convenables les trèfles y réussiraient. Le *trèfle* est cultivé avec succès dans toute la série des terrains jurassiques, lorsque le sol a été suffisamment amendé. Il réussit surtout sur les plateaux liasiques et oxfordiens. La *luzerne* réussit bien et dure longtemps dans le lias lorsqu'un banc calcaire, trop rapproché du sol, ne vient point arrêter ses racines. Il est à remarquer qu'elle végète très bien dans les marnes en pente presque complètement dénudées de terre végétale par le passage des eaux. Elle peut donc, comme les prairies naturelles, être employée avec succès pour arrêter le mouvement des alluvions. Les terrains oolitiques améliorés sont également propres à la culture de la luzerne ; et comme ils sont difficilement envahis par les mauvaises herbes, les luzernières y durent très longtemps. J'en connais qui sont encore très productives et qui n'ont pas moins de quinze ans. Le *sainfoin*, jusqu'à présent, n'a pas réussi dans les terrains argileux. Il prospère, au contraire, admirablement bien dans les terrains oolitiques. Sa culture a depuis vingt ans décuplé la valeur de certaines terres en permettant l'introduction des moutons qui jusqu'alors en avaient été écartés faute de fourrage. Je puis citer, comme exemple très remarquable d'amélioration de culture dans les terrains oolitiques, l'immense plateau situé entre les vallées de la Seine, de l'Oze, de la Brenne, de l'Armançon, et la route royale n° 65, entre Tonnerre et Châtillon. Ce plateau était, il y a vingt ans, complètement dénué de fourrage ; aussi l'agriculture y était réduite à un état misérable, et le prix

moyen de l'hectare de terre labourable ne dépassait certainement pas 200 francs. Aujourd'hui la culture du sainfoin y a pris une extension considérable, et on a pu introduire dans le pays une très belle race de moutons. Or, tout le monde sait que le fumier de mouton est un des engrais les plus puissants. Aussi l'agriculture a fait des progrès si extraordinaires, qu'aujourd'hui les terres à 3,000 francs l'hectare ne sont pas rares dans le pays, et que certainement il serait difficile d'en trouver à 1,000 francs. Je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet, qui est en quelque sorte un hors-d'œuvre dans cet article. Je dirai seulement que les races bovines ont fait la fortune des terres liasiques, comme les moutons celle des terres oolitiques. Ainsi, dans ces deux sortes de terrains on retrouve, pour l'agriculture comme pour le reste, des caractères parfaitement tranchés.

Culture de la vigne. — La culture de la vigne, dans la Bourgogne, donne lieu à une singulière observation. Tous les vins fins de la Côte-d'Or, entre Dijon et Mâcon, sont cultivés dans les terrains oolitiques du versant de la Méditerranée : ces vins ont tous une saveur particulière à laquelle on a donné le nom de *bouquet*. Le versant de l'Océan, étant généralement exposé à l'O., est peu propre à la culture de la vigne ; mais dès que les vallées, en s'élargissant, présentent certains coteaux bien exposés, la culture de la vigne reparaît, et dans les terrains oolitiques de Tonnerre, Ricey, Irancy, on retrouve des vins ayant le bouquet de la Haute-Bourgogne. Dans les terrains liasiques et notamment près d'Avallon, il existe aussi des vallées bien ouvertes et bien exposées où l'on récolte des vins qui ne manquent pas de mérite, mais qui n'ont pas de bouquet.

35. *Du reboisement des terrains.* — Tout le monde sait que la question du reboisement est aujourd'hui plus que toute autre à l'ordre du jour. On me pardonnera donc d'entrer ici dans quelques développements sur ce sujet. Avant de se décider à reboiser un terrain, il faut savoir si l'opération sera lucrative ou onéreuse, et par conséquent déterminer la valeur *maxima* de l'hectare de terre à replanter. Il faut ensuite faire choix d'une essence. Je vais examiner successivement ces deux questions. — *Valeur maxima du sol à replanter.* — Je suppose que le produit *maximum* d'une plantation à vingt ans (les essences d'acacia et de châtaignier exceptées), soit 680 francs par hectare. Il faut que les frais de plantation, capitalisés à 5 p. 100 pendant vingt ans, et les revenus des années de non-jouissance remplacés par des emprunts à 5 p. 100, et capitalisés pendant vingt ans, fassent au plus ensemble 680 francs. La

méthode de plantation la moins dispendieuse exige un déboursé de 60 francs par hectare. Cette somme, avec les intérêts composés à 5 p. 100, vaudra au bout de vingt ans. 160 fr.

On trouve qu'un emprunt annuel de 14 fr. 40 c., avec intérêts composés pendant vingt ans, donne au bout de ce temps. 480

Total égal au produit *maximum* de la plantation. 640 fr.

Or, cet emprunt annuel de 14 fr. 40 c. que le propriétaire est obligé de faire pendant les années de non-jouissance, est précisément le revenu cherché de l'hectare de terre. Aujourd'hui la propriété doit donner un produit brut de 3 p. 100; un hectare de terre valant 489 francs doit donc produire 14 fr. 40 c., et par conséquent représente le type le plus cher des terrains à reboiser, en admettant les hypothèses ci-dessus établies, c'est-à-dire un produit de 689 francs à vingt ans et 60 francs de frais de plantation par hectare. Si ces chiffres sont changés, il faudra faire un nouveau calcul. J'ai dit que le reboisement des terrains oolitiques était peu important dans l'intérêt général. Mais cette opération peut être excellente, financièrement parlant; car on y trouve encore aujourd'hui de grandes masses de terres qui se vendent moins de 480 francs par hectare. Le reboisement des terrains liasiques, au contraire, serait désastreux même dans l'intérêt général, en raison de leur prix élevé; car on n'y trouve aucune partie valant moins de 500 francs l'hectare. Les procédés que j'indique s'appliquent spécialement aux terrains très secs, granitiques ou oolitiques.

Choix d'une essence. — Les plantations d'arbres forestiers de toute nature réussissent généralement bien dans les granites, surtout lorsqu'ils sont moyennement humides; mais dans les terrains oolitiques, les jeunes plants languissent longtemps, jusqu'à ce que le sol soit entièrement à couvert de l'action des rayons solaires. On peut admettre qu'en général les plantations de chênes, charmes, bouleaux, hêtres, etc., sont peu lucratives dans ces terrains, et que même dans les granites elles sont beaucoup moins utiles que les plantations d'arbres résineux. Le châtaignier dans le granite, l'acacia et le marsaule dans certains terrains, peuvent donner d'excellents produits; mais il faut, pour obtenir une bonne réussite, certaines conditions qu'on ne retrouve pas toujours, et qu'il serait trop long de détailler ici. Je me bornerai donc aux indications suivantes. Les espèces qui paraissent le mieux réussir dans les terrains les plus secs sont l'épicéa et le pin sylvestre, surtout ce dernier. Jusqu'à présent les tentatives de semis faites dans les ter-

rains calcaires entièrement découverts n'ont pas donné de bons résultats. On doit donc employer autant que possible du plant venu sur couche ou arraché sous les pins qui portent graine. Le procédé le plus économique employé jusqu'à ce jour dans les terrains dont il est ici question a été préconisé et mis en pratique par M. Lambert, maire de Vilaine en Duesnois, près Châtillon-sur-Seine ; il est extrêmement simple et n'exige aucune culture préalable. Je voudrais pouvoir en donner ici la description ; mais cela me mènerait trop loin, et je préfère renvoyer les personnes qui voudraient planter à M. Lambert lui-même, qui est d'une obligeance extrême, et qui se fera un grand plaisir de leur donner tous les renseignements utiles. J'ai dit que ce mode de plantation était des plus économiques ; j'ai eu occasion de le mettre en pratique, et je puis certifier qu'en y comprenant l'acquisition de 3,300 pins pour une somme de 40 francs, la dépense totale revient au plus à 60 francs par hectare (1). Les pins pour le reboisement doivent être préférés aux autres essences. En effet, d'après les plantations de M. Lambert, et d'après celles que je possède moi-même, et qui sont déjà âgées de douze ans, je crois pouvoir affirmer que le premier éclairci, supposé fait à vingt ans, donnera dans les meilleures parties 680 francs, frais d'exploitation déduits. Or, les meilleurs taillis sans futaie, essence de chêne, charme et autres arbres forestiers, ne se vendent guère en moyenne, à vingt ans, au-dessus de 6 à 700 francs l'hectare. Il faudrait donc, pour qu'une plantation de ce genre fût équivalente à une autre d'arbres résineux, qu'au bout de vingt ans elle eût atteint son produit *maximum*, ce qui n'est pas possible. Ainsi le chiffre de 680 francs doit être considéré comme le produit *maximum* de l'hectare reboisé au bout de vingt ans. Les terrains plantés par M. Lambert appartiennent à la plus mauvaise nature de la formation de la grande oolite. Le sol, à peu près dépourvu de terre végétale, est composé de débris rocaillieux désagrégés par la gelée. Le pays est si exposé à l'action du froid, que les bois qui couvraient primitivement le sol ont tous été successivement détruits. Aujourd'hui M. Lambert, pour le compte de M. Pasquier, frère du président de la chambre des pairs, pour son propre compte et celui de sa commune, a planté dans ces friches stériles plus de 300 milliers de pins sylvestres qui ont admirablement bien réussi. Plusieurs propriétaires ont suivi son

(1) Au moment où j'achève cet article, j'apprends qu'un pépiniériste de Semur plante des pins sylvestres, avec garantie par la méthode de M. Lambert, à raison de 40 francs par hectare.

exemple, et les pentes dénudées de la grande oolite, aux abords de Châtillon-sur-Seine, commencent à se couvrir d'arbres verts.

CONCLUSIONS.

36. Ce Mémoire, quoique bien long peut-être, ne doit être considéré que comme un programme des études à faire sur l'immense superficie qui forme le premier quart du bassin de la Seine, en amont de Paris. Plusieurs parties de ce travail sont incomplètes, parce que je n'avais pas à ma disposition des moyens d'observation suffisants. Tous les chiffres donnés ne sont sans doute pas d'une rigoureuse exactitude, mais les principes généraux sont vrais, et l'expérience de chaque jour vient me le démontrer. Aujourd'hui que les questions du reboisement et des irrigations préoccupent si vivement les esprits sérieux, il est singulier que personne n'ait jusqu'à ce jour cherché à reconnaître quels sont les terrains qu'on doit reboiser ou arroser. On a peine à croire qu'une société qui se forme pour entreprendre des irrigations sur une grande échelle ait émis dans son prospectus le principe suivant : *Partout on peut faire des prés avec le secours des eaux pluviales seulement.* Il paraît bien démontré aujourd'hui que dans le projet d'alimentation du canal de Bourgogne on ne s'était nullement préoccupé de la nature absorbante des terrains à traverser. Je fais ces observations uniquement pour démontrer que l'hydrologie est une science toute nouvelle et qui doit attirer vivement l'attention des ingénieurs. Chacun sait construire un canal, endiguer une rivière, mais personne ne connaît le secret des variations et des caprices des cours d'eau que tous ces grands ouvrages doivent maîtriser. Aussi, l'insuffisance des travaux exécutés, souvent leur inutilité, sont chaque jour démontrées par l'expérience ! on ne connaîtra réellement le régime des rivières que lorsqu'on l'étudiera sur le terrain même où tombe la pluie qui les alimente. La méthode d'observation que j'indique (n° 4) peut être utile à tous les ingénieurs qui ne reculeront pas devant un travail ingrat, minutieux, mais dont l'importance est incontestable. Lorsqu'un ingénieur connaît bien la structure géologique de son arrondissement, chaque tournée peut le mettre à même de faire d'utiles observations. Une bonne carte géologique éviterait bien des courses pénibles, surtout si les terrains calcaires et argileux n'y étaient pas confondus comme ils le sont pour diverses formations sur la carte de l'École des mines. S'il m'était permis d'exprimer un vœu, je voudrais que des études analogues à celles qui font l'objet du présent Mémoire

fussent faites dans tous les bassins des rivières navigables. On reconnaîtrait alors le régime de ces rivières ; on saurait quels sont les terrains qui produisent les crues , les points où il faut travailler pour les régulariser , et on n'appliquerait pas en aveugle tel procédé reconnu utile sur une rivière à tel autre cours d'eau où il doit être complètement inefficace.

Avallon , le 4^{re} février 1846.

NOTES.

Pour ne point compliquer le présent Mémoire , j'ai supprimé plusieurs parties essentielles que je reproduis dans les notes ci-dessous. Quelques uns des points où ont été faites les observations relatives à l'imperméabilité des terrains sont désignés dans les notes A , B , C , D. Pour abréger je ne citerai qu'un petit nombre d'exemples pour chaque nature de terrain.

NOTE A. — *Écoulement à la surface des granites.*

Ponceau sous le chemin des Pannats et sur le ruisseau de Montmain, près d'Avallon. Surface du débouché occupé par la crue du 6 mai 1836 , 6^m,17. Surface des versants d'amont , 14 kilomètres carrés. Débouché par kilomètre carré, 0^m,44. La pente de la vallée est très forte (de 0^m,01 à 0^m,04 par mètre). J'ai dit (n° 4) que les observations devaient être faites dans des vallées très courtes. En effet, l'on conçoit que pour une vallée plus longue la cause efficiente de la crue n'agisse pas partout à la fois avec la même intensité , de sorte qu'à mesure que la longueur de la vallée augmente , la surface du débouché nécessaire , par kilomètre carré, diminue. Voici deux exemples qui démontrent la vérité de cette proposition :

Pont Clairaut, sur le Cousin, près d'Avallon :

Surface du débouché occupé par la crue des 5 et 6 mai 1836.
62,59 mètr. sup.

Surface de la vallée en aval des étangs qui règlent les crues d'amont. 210,00 kil. sup.

Débouché par kilomètre superficiel. 0^m,30

Pont de Bessy, sur la Cure ; surface du débouché occupé par la même crue. 213^m,00

Superficie de la vallée d'amont. 900 kil. sup.

Débouché par kilomètre superficiel. 0^m,24

NOTE B. — *Écoulement dans les terrains liasiques.*

Premier exemple. Pont de Lucy-le-Bois, sur le Veau-de-Bouche, route royale n° 6 (Yonne), surface occupée par la crue du 27 mai 1841. 36 mètr. sup.

Surface de la vallée d'amont. 23 kil. car.

Débouché par kilomètre carré. 1^m,57

Deuxième exemple. Pont de Vitteaux sur la Brenne (Côte-d'Or), débouché du pont. 26 mètr. sup.

Surface de la vallée d'amont 91 kil. sup., dont 30 environ versent leurs eaux dans le réservoir de Gros-Bois et n'ont qu'une action très faible, par conséquent, sur les crues de Vitteaux, et 35, composés de terrains oolitiques, ne donnent aucun produit dans les fortes pluies (*voir plus bas la note C*), et doivent être négligés. La surface à considérer ici est donc seulement de 26 kilomètres superficiels. Le débouché est ainsi de 1 mètre par kilomètre superficiel. Or, il est tellement insuffisant, que dans la crue du 30 avril 1842 l'eau passa pardessus le parapet du pont. En fixant à 1^m,50 le débouché nécessaire par kilomètre carré, on est, suivant moi, un peu au-dessous de la vérité.

NOTE C. — *Écoulement à la surface des terrains oolitiques inférieurs.*

C'est surtout pour cette nature de terrain que les résultats des observations faites sont remarquables. Les vallées entièrement oolitiques sont toujours sans cours d'eau, à moins qu'il ne s'y trouve une source très abondante. Dans ce cas, le ruisseau qu'elle produit va sans cesse en décroissant et finit par être absorbé en entier.

Exemples : 1° ruisseau de Lucey (arrondissement de Châtillon, Côte-d'Or), traversant les villages de Faverolles, Lucey, la Chaume, disparaît même dans les plus fortes crues après un cours de 14 kilomètres; 2° ruisseau produit par la fontaine de Jour (arrondissement de Châtillon, Côte-d'Or, après avoir traversé les communes de Chaume, Fontaines, Villaines-en-Duesnois, disparaît près de Vauginois après un cours de 13 kilomètres; 3° la fontaine de Lucenay, près Montbard, disparaît après un cours de quelques centaines de mètres, sous les roues mêmes du moulin qu'elle fait tourner; 4° le ruisseau de Marot (arrondissement d'Avallon, Yonne, après avoir traversé les villages de Fontenille, Brosses, et fait tourner plusieurs usines, disparaît en amont du hameau de Chevroches; 5° le Serein, la Seine et l'Ource, lorsque leur débit tombe au-dessous

de 1 mètre par seconde, disparaissent dans la traversée des terrains oolitiques, en amont de Noyers, Châtillon, Brion (n° 7). Les ingénieurs chargés de la construction des routes dans ces terrains, semblent s'être préoccupés assez peu des moyens d'écoulement des eaux des vallées. Ainsi la route royale n° 65, entre Châtillon-sur-Seine et Cérilly, traverse deux vallées sur des ponceaux dont la clef de voûte à l'intrados est plus basse que le fond du thalweg, de sorte qu'à mon arrivée dans le département ces ouvrages étaient remplis de terre jusqu'à la clef, sans grands inconvénients pour la route et le roulage; l'une de ces vallées, qui aboutit sur Sainte-Colombe, a une étendue de 17 kilomètres superficiels. La route royale n° 80 franchit, au-dessous de Vauginois et à proximité de Puits, le vallon dont il est question dans le deuxième exemple ci-dessus. Quoique j'aie parcouru cette route plus de cinquante fois et par tous les temps possibles, je n'ai jamais vu d'eau sous le ponceau de 1^{m.c.}, 71, qu'on a cru devoir y construire. Or, la surface d'amont de la vallée est de 184 kilomètres superficiels. Le ponceau a donc un débouché de 0^{m.c.}, 0093 par kilomètre superficiel, et, je le répète, ce débouché est plus que suffisant. Les exemples ci-dessus suffisent pour démontrer que toujours et dans toutes circonstances les terrains oolitiques inférieurs absorbent l'eau tombée à leur surface. C'est toujours dans la grande oolite et le forest marble que la perte des cours d'eau a lieu. Ces terrains sont donc les plus absorbants de la série. Les couches marneuses de la terre à foulon ayant peu d'importance dans les lieux observés, il est impossible de dire l'influence qu'elles auraient si elles étaient plus épaisses. On conçoit cependant qu'une trombe d'eau tombée sur la grande oolite ne puisse y être absorbée entièrement. C'est ce qui est arrivé dans une dépression de la vallée du Serein, près Grimault (arrondissement de Tonnerre) : une trombe étant tombée sur le plateau supérieur, creusa dans cette dépression, immédiatement au-dessus du moulin Bargeot, un ravin de plusieurs mètres de profondeur, arrachant arbres et rochers, et roulant le tout sur les bâtiments du moulin que le constructeur avait établis en toute sécurité, il y a quelques siècles, sur le thalweg même de la dépression; mais un semblable phénomène n'est qu'une exception bien rare heureusement et qui ne peut être prise en considération dans la rédaction d'un projet.

NOTE D. — *Écoulement à la surface de l'oxford-clay.*

La puissance absorbante de l'oxford-clay est très variable suivant

la nature plus ou moins marneuse du terrain et les circonstances locales qui augmentent la perméabilité du sous-sol de la vallée. Je choisis ici les deux exemples qui donnent les résultats les plus dissimilaires :

1^o Ponceau de Reigny, sur la vallée de Sacy, près Vermanson, route royale n^o 6 ;

Débouché occupé par la grande fonte de neige de l'hiver de 1844 à 1845. 17 mètr. s.

Surface d'amont des versants. 70 kil. s.

Débouché par kilomètre carré 0^{m.c.}, 24.

2^o Aqueduc à trois ouvertures sur la route départementale n^o 16, sur le ruisseau de Riel-les-Eaux, arrondissement de Châtillon (Côte-d'Or) ;

Surface du débouché. 2^{m.c.}, 16.

Surface d'amont des versants depuis l'étang d'Épailly 59 kil. car.

Surface par kilomètre carré 0^{m.c.}, 0366.

Il faut observer, pour ce qui concerne ce dernier exemple, que la vallée de Riel-les-Eaux est presque sans pente ; que depuis Épailly les eaux de pluie ou des sources nombreuses qui couvrent le sol s'écoulent si difficilement qu'elles forment des marécages d'une étendue considérable, où elles viennent en quelque sorte s'emmagasiner dans les crues : de là, sans doute, le faible débouché du ponceau.

Tels sont les exemples qui me semblent suffisants pour bien déterminer la classification des terrains en question, eu égard à leur pouvoir absorbant. En faisant d'autres observations on trouve des nombres qui, sans doute, ne sont pas identiques avec ceux cités plus haut, mais qui cependant varient pour chaque terrain dans des limites assez resserrées. Les observations que j'ai pu faire dans le coral-rag, les marnes de Kimmeridge et les calcaires de Portland ne sont pas assez précises pour que je les cite ici. Cependant tout me porte à croire que le coral-rag et les calcaires de Portland doivent être classés parmi les terrains les plus absorbants, et les marnes de Kimmeridge dans la même catégorie que l'oxford-clay. Le sol des routes, des chemins, des sentiers et généralement de tous les terrains foulés par le passage des hommes, des animaux ou des voitures, doit être classé parmi les terrains les plus imperméables. Que l'on examine par une forte pluie le frayé fait dans une terre fraîchement labourée par le passage de deux ou trois voitures, on remarquera, dès l'origine de la pluie, des flaques d'eau dans les légères ornières formées par les roues, tandis que le fond des sillons voisins absorbera toute l'eau tombée. Dans la grande

oolite (le plus absorbant de tous les terrains dont il est ici question), les chemins en pente donnent souvent beaucoup d'eau, tandis que les versants dans lesquels ils sont tracés, quoique d'une superficie incomparablement plus grande, n'en débitent pas une quantité appréciable.

NOTE E.

Je crois devoir faire connaître les jaugeages que j'ai eu occasion de faire dans le courant de 1844 sur un petit ruisseau nommé le Ru d'Aillon, près d'Avallon. Ils donneront une idée des variations continuelles éprouvées par les cours d'eau granitiques, suivant que le temps est sec ou pluvieux ; et comme la vallée est boisée à quelques hectares près, ils prouveront jusqu'à l'évidence que le reboisement est un moyen insuffisant pour régler les cours d'eau.

Les jaugeages étaient faits au moyen d'un petit déversoir en tôle mince de 0^m,25 de largeur. Ces calculs ont été effectués au moyen de la formule $Q = 4.80 l. h \frac{3}{2}$ (Q = débit, l = largeur du déversoir, h = hauteur d'eau observée).

DATES.	DÉBIT EN MÈTRES CUBES.		OBSERV.
	PAR SECONDE.	PAR 24 HEURES.	
15 mai.	0,00355	306,7	(a)
1 ^{er} juin.	0,00526	454,5	(b)
15 juin.	0,0013	112,30	(c)
1 ^{er} juillet.	0,007	605,00	(d)
15 juillet.	0,00266	229,8	(e)
1 ^{er} août.	0,0013	112,3	(f)
15 août.	0,0082	708,5	(g)
1 ^{er} septembre.	0,0023	198,7	(h)
15 septembre.	0,00176	152,06	(i)
1 ^{er} octobre.	0,0087	751,68	(k)

(a) Sécheresse, petite pluie trois jours avant l'opération. (b) Deux ou trois petites pluies dans la quinzaine. (c) Sécheresse, sauf une pluie d'orage au commencement de la quinzaine. (d) Depuis le 24 juin temps pluvieux, faibles pluies presque tous les jours. (e) Sécheresse, sauf plusieurs jours de pluies au commencement de la quinzaine. (f) Sécheresse. (g) Il a plu le 11, le 12, le 13, le

14 et le 15 (faibles pluies). (h) Sécheresse, sauf plusieurs jours de pluie au commencement de la quinzaine. (i) *Idem*. (k) Plusieurs jours de pluie au commencement de la quinzaine.

Pendant l'été très pluvieux de 1843, on a fait le jaugeage du même ruisseau, et on a obtenu des variations bien plus fortes (le maximum a dépassé 2,177 mètres cubes par vingt-quatre heures, et le minimum a été de 128^{m.c.}74. On voit par conséquent combien on se tromperait si l'on attribuait uniquement au boisement des vallées la régularité du débit de certaines rivières.

NOTE F.

Pour bien se rendre compte des effets de l'évaporation, il faut admettre : 1° que le volume de l'eau qui s'écoule à la surface du sol au moment même de la pluie, ou qui est rassemblé dans les cours d'eau dans le fond des vallées (je ne parle ici ni des canaux ni des étangs) n'est pas sensiblement diminué par l'évaporation ; 2° que la partie des eaux pluviales qui reste dans la couche superficielle du sol est, au contraire, entièrement enlevée par ce moyen. Il est inutile de s'occuper ici des terrains absorbants où il s'établit, au moment de la pluie, une multitude de petits courants continus de la surface du terrain jusqu'au sous-sol. Mais voyons ce qui se passe dans les terrains à sous-sol imperméable. Il est évident que la quantité d'eau nécessaire pour abreuver la couche superficielle du sol sera d'autant plus petite que le sol sera plus compact et plus humide. Elle serait même nulle dans un terrain où la couche superficielle serait constamment tenue à son point *maximum* d'imbibition. Dans ce cas, la totalité des eaux pluviales coulerait à la surface, et les produits de l'évaporation seraient très faibles. Or, la surface du sol se présente généralement sous trois aspects. Ou elle est en nature de terre arable, ou elle est en prairie naturelle ou artificielle, ou en friche, ou elle est boisée. Dans le premier cas, en cultivant la terre, on se propose de la rendre aussi peu compacte que possible, par conséquent l'humidité peut y entrer à de très grandes profondeurs ; en outre, le sol est généralement peu couvert ; dans des circonstances atmosphériques données, il est donc bien disposé pour rendre les produits de l'évaporation considérables. Dans le deuxième cas, le sol est très compacte, l'eau ne peut y pénétrer profondément ; il est couvert jusqu'aux récoltes, et alors reste presque constamment humide, mais ensuite il est très découvert, et par conséquent au moins aussi facile à dessécher que les terres labourables. Dans le troisième cas, le sol est moins

compacte que dans le précédent ; mais il est bien mieux couvert ; et toutes les personnes qui connaissent les forêts liasiques et granitiques ont sans doute reconnu , comme nous , que la surface du terrain , sous les arbres , est presque toujours humide. Ainsi il faut une bien plus petite quantité d'eau pluviale pour abreuver la couche superficielle des prairies , et surtout des bois , que celle des terres labourables , et par conséquent , dans cette dernière nature de terrain , les pertes par l'évaporation sont bien plus importantes. Pour déterminer très exactement les produits de l'évaporation dans ces trois cas , il faudrait comparer aux produits d'un udomètre les jaugeages journaliers et longtemps répétés faits dans trois petites vallées à sous-sol imperméable , dont l'une serait boisée , l'autre couverte de prairies et la dernière labourée.

NOTE G. — *Effet utile des usines dans certains cas.*

Les moyens indiqués (n^{os} 18 et 19) pour arrêter les alluvions ne s'appliquent qu'aux versants qui forment les parties latérales des vallées. Mais lorsque la pente du fond est rapide , il est souvent utile de protéger les berges contre les érosions des torrents. Cela est nécessaire surtout dans les vallées granitiques , dont la pente est souvent de 0^m,01, 0^m,02 et 0^m,05 par mètre , et dont le sol est très léger et très attaquable. Aussi , lorsque les eaux des ruisseaux y coulent librement et sans obstacle , pour peu que leur volume ait d'importance , les terres riveraines sont enlevées jusqu'au vif , et le sol reste dénudé ou couvert de fragments plus ou moins gros de rochers roulés. Dans ce cas , les déversoirs des usines , aussi élevés que possible , sont sans contredit le meilleur remède ; ils détruisent la vitesse de l'eau , favorisent le dépôt des alluvions dans les champs voisins , et souvent suffisent pour convertir un sol stérile en terre à chanvre. Il est véritablement remarquable combien l'instinct des constructeurs des anciennes usines les a admirablement dirigés dans l'établissement de leurs prises d'eau. Tandis que dans les terrains absorbants du Châtillonnais , les usines ont à peine des déversoirs , et que l'écoulement des crues s'opère par quelques vannes de décharge qui n'arrêtent point les alluvions , dans le lias de l'Auxois et les granites du Morvan surtout , les plus misérables moulins ont d'immenses déversoirs qui suffisent largement à l'écoulement des crues , et seulement une petite vanne de décharge pour vider le bief en cas d'avarie , mais qui ne suffit point pour rétablir en amont la vitesse primitive et favoriser l'érosion des rives. L'administration , en prescrivant des règles uni-

formes dans l'établissement des usines, s'est donc écartée de la vérité. Ainsi les grands déversoirs qu'on impose aux usiniers dans des terrains oolitiques constituent une dépense inutile, puisque les crues arrivent lentement dans ces terrains, et qu'il est facile de les faire écouler par les vannes de décharge, tandis que les vannes de décharge qu'on prescrit dans presque toutes les circonstances peuvent être funestes aux riverains des ruisseaux liasiques et granitiques, en augmentant la vitesse d'amont et en favorisant l'érosion des rives.

NOTE H.

Les étangs du Morvan contiennent peu de vase; ils reposent presque tous sur un fond d'arène granitique: aussi ils ne paraissent pas exercer une action fâcheuse sur la population, qui est généralement très saine. Les étangs du lias, au contraire, reposent généralement sur un fond de vase. Ils peuvent donner lieu à des fièvres intermittentes, ainsi que le prouvent de nombreux exemples. Il y aurait donc de grands inconvénients à établir des étangs dans le lias, surtout dans le voisinage des villes. Les grands réservoirs que je propose de construire (n^{os} 24, 25, 26) doivent également être éloignés des centres de population. Les populations du terrain liasique sont du reste très belles. Le canton de Guillon, près d'Avallon, qui repose entièrement sur cette formation, fournit au recrutement les plus beaux hommes du département de l'Yonne. Cependant, depuis quelques années, les fièvres typhoïdes y règnent épidémiquement, ce qui doit être attribué à l'insalubrité des maisons, dont les caves, creusées dans un sol imperméable et humide en même temps, sont presque toujours malsaines, et communiquent bientôt leurs propriétés malfaisantes au reste du bâtiment. Les terrains oolitiques inférieurs sont très sains. La population y est remarquablement active et industrielle. Les terrains oxfordiens, qui sont à une assez grande distance du point de partage, sont peu inclinés, surtout dans l'arrondissement de Châtillon-sur-Seine. Aussi les sources nombreuses qu'on y remarque manquent souvent d'écoulement, et forment dans le fond des vallées des marécages qui ont longtemps exercé une fâcheuse influence sur la population. Il y a vingt ans, les villages de Belan, d'Antrécourt, etc., sur la basse Ource, étaient décimés par les fièvres intermittentes, les maladies scrofuleuses, etc. En hiver, on voyait des sources suinter des fondations de chaque maison. Des marais infects environnaient chaque localité. Aujourd'hui les marais sont devenus des jardins, les maisons ont été assainies, aérées; les ma-

ladies scrofuleuses sont devenues rares, et les fièvres ont presque disparu. L'établissement d'un canal dans les terrains oolitiques est presque toujours un fléau pour les populations, surtout dans les vallées peu inclinées; les filtrations nombreuses qui s'établissent à travers les remblais ne tardent pas à convertir en marais toutes les parties basses du terrain: de là toutes les maladies dont j'ai parlé plus haut. Les canaux de Bourgogne et du Nivernais peuvent être cités comme exemples. Sous ce rapport, les chemins de fer sont bien préférables aux canaux. Ils sont sans doute très incommodes pour le propriétaire dont ils morcellent les domaines, pour le fermier, en augmentant les distances de transport des engrais et des récoltes; mais au moins ils n'ont aucune influence fâcheuse sur la santé générale de la population, et les inconvénients qu'ils présentent sont bien compensés par les nombreux débouchés qu'ils ouvrent à toutes les industries.

Après la lecture de ce Mémoire, M. Virlet communique l'extrait d'une lettre qui lui est adressée par M. Belgrand et qui contient les observations recueillies par lui sur le bassin de la Seine pendant les pluies qui ont amené dans le bassin de la Loire des désastres dont le pays est encore ému.

« La quantité d'eau tombée les 16 et 17 octobre dernier dans le bassin supérieur de la Seine a été énorme; elle n'a cependant produit à Paris qu'une crue insignifiante, puisque les journaux n'en ont même pas parlé.

» Voici les hauteurs d'eaux pluviales constatées à l'hydromètre de Montsauche, à quelques kilomètres à l'aval des sources de la crue :

Jeudi 15 octobre 1846.	0 ^m ,0165
Vendredi 16 octobre 1846.	0 ^m ,0775
Samedi 17 octobre 1846.	0 ^m ,0880
Dimanche 18 octobre 1846.	0 ^m ,0115
Hauteur totale.	0 ^m ,1935

» La hauteur moyenne des eaux qui tombent annuellement dans la cour de l'Observatoire de Paris est de 0^m,57; ainsi la quantité tombée à Montsauche en quatre jours a été très approximativement égale au tiers de ce qui tombe dans un an à Paris. Maintenant voyons ce que sera devenue cette énorme masse d'eau. Tous les ruisseaux à versants granitiques ou liasiques ont éprouvé une

forte crue ; mais ce qui m'a véritablement surpris, c'est que tous les versants oolitiques, même ceux des argiles d'Oxford, n'ont exactement rien donné, sauf sur les points où il existe des sources. Je ne puis entrer ici dans le détail des observations que j'ai pu faire sur tous les cours d'eau de mon arrondissement ; je vous dirai seulement que les vallées de l'Yonne, de la Cure, du Serein, de l'Armançon, qui ont des versants granitiques ou liasiques importants, ont éprouvé des crues très fortes. Celle de la Cure, à Arcy, s'est élevée à 3^m,50 au-dessus de l'étiage, à 0^m,50 seulement en contre-bas de celle du mois de mai 1836. Les vallées de la haute Seine (en amont de Châtillon), de l'Ource, de l'Aube (en amont de Montigny), dont les versants sont presque entièrement oolitiques, n'ont éprouvé que des crues extrêmement faibles. Ainsi, sur les 11,000 kilomètres carrés qui forment le quart supérieur du bassin de la Seine, 3,000 seulement (les granites et les terrains liasiques) ont donné de l'eau aux rivières à la suite des dernières pluies. Il ne faudrait cependant pas conclure de là que la Seine supérieure, l'Ource, etc., les autres rivières à versants oolitiques n'éprouvent jamais de fortes crues. Les nombreuses sources qui les alimentent soutiennent leurs eaux à un niveau très élevé pendant l'hiver et jusqu'au milieu du printemps ; alors les faibles parties des versants qui contiennent des argiles liasiques suffisent à la suite d'une forte pluie pour produire une crue. Les fontes de neige donnent presque toujours de l'eau sur les versants oxfordiens et quelquefois dans les terrains oolitiques (voir mon Mémoire), aussi ces cours d'eau éprouvent-ils des crues assez fréquentes en hiver ; mais il est difficile qu'ils sortent de leurs lits entre le 1^{er} juin et le 1^{er} novembre, lorsque les sources sont basses, comme le prouvent bien les observations faites en octobre dernier. Ainsi donc ma théorie de l'écoulement des eaux pluviales à la surface des terrains granitiques et jurassiques de la Bourgogne est pleinement confirmée par mes dernières observations. Il en a été de même de l'opinion que j'ai émise dans mon Mémoire sur le reboisement des mêmes terrains. J'ai dit que les bois ne pouvaient en rien prolonger l'écoulement des crues des cours d'eau, et par conséquent en diminuer la hauteur ; qu'ils pouvaient cependant, comme les prairies naturelles ou artificielles, produire un effet salutaire en empêchant le déplacement de la couche superficielle du sol. La vallée de la Cure, en amont d'Arcy, contient environ 900 kilomètres carrés de terrains granitiques ou liasiques ; cette surface est à peu près à moitié boisée ; quels que soient les efforts de l'administration et des propriétaires, on ne doit pas espérer arriver jamais, sur une vallée de quelque

étendue, à un reboisement proportionnellement aussi considérable. Si donc le reboisement des montagnes doit diminuer la rapidité de l'écoulement des crues, et par conséquent leur hauteur, à coup sûr les crues de la Cure doivent s'écouler dans d'excellentes conditions. Or, voici comment s'est passée celle du mois d'octobre dernier.

» Le samedi 17, à onze heures du matin, je visitai les travaux de deux ponts que je fais construire à Arcy. La Cure s'élevait à peine à 0^m,30 ou 0^m,40 au-dessus de l'étiage. La crue n'a commencé à se faire sentir qu'à l'entrée de la nuit; à huit heures du soir, elle s'élevait si rapidement que les ouvriers qui travaillaient aux épaissements de l'un des ponts étaient forcés de quitter précipitamment les travaux, laissant sur place les pompes et autres agrès. Un instant après, le conducteur des travaux, pour sauver les registres d'attachements et autres objets déposés dans une baraque au bord de l'eau, était obligé de faire traverser à la nage, par un ouvrier, les prairies couvertes d'eau. Le lendemain, à huit heures du matin, l'eau s'élevait contre les piles à 3^m,50 au-dessus de l'étiage, et le lundi 19 la rivière était rentrée dans son lit: ainsi la crue a duré à peine quarante heures. Or, si vous voulez vous reporter aux chiffres qui sont au commencement de cette lettre, et qui donnent les hauteurs d'eau tombée, vous verrez que la pluie a régné avec une grande intensité depuis le 16 jusqu'au samedi 17, c'est-à-dire pendant trente-six heures par conséquent. La crue n'a guère mis plus de temps à s'écouler que la pluie à tomber. Les nombreuses forêts qui couvrent les versants de la rivière n'ont donc pas prolongé l'écoulement de la crue, et par conséquent n'ont pu diminuer la hauteur. Mais j'ai constaté, dans les nombreuses excursions que j'ai faites depuis le 17 octobre, les désastreux effets des eaux pluviales dans les coteaux fraîchement labourés des terrains granitiques ou liasiques. Je suis forcé d'entrer encore ici dans quelques développements. Presque tous les propriétaires dans ces formations, pour se débarrasser plus promptement des eaux pluviales, dont le séjour nuirait à leurs récoltes, dirigent leurs sillons suivant la ligne de plus grande pente du terrain. Cette disposition préserve en effet les récoltes, mais elle a l'inconvénient de donner à l'eau la force érosive maxima, de sorte qu'à la suite de chaque pluie un peu forte, tous les sillons sont plus ou moins profondément ravinés, et les engrais, l'humus et, en général, les parties les plus fertiles du sol sont entraînées vers le fond des vallées.

» Dans les parties couvertes de bois ou de prairies naturelles ou

artificielles, le déplacement de la couche superficielle du sol n'existe pas, non pas parce que les eaux pluviales s'y écoulent moins vite, mais bien parce que le sol, soutenu par les nombreuses racines des végétaux qui le couvrent, y est plus ferme et résiste mieux à l'action de l'eau.

» On peut donc employer divers moyens pour empêcher le déplacement de la couche superficielle du sol :

» 1^o Dans les terrains d'un prix peu élevé (les granites en général), le reboisement ;

» 2^o Dans le lias et les bons terrains granitiques, la création de prairies naturelles ;

» 3^o Dans les terrains mal disposés pour recevoir des prés, le changement de direction de la culture. On doit, en général, donner aux sillons l'inclinaison la plus faible possible, en assurant toutefois l'écoulement des eaux pluviales ;

» 4^o Lorsque les parcelles sont trop étroites pour qu'il soit possible de changer le sens de la culture (ce qui a lieu malheureusement dans tous les bons terrains liasiques où le morcellement est excessif), il faut, autant que possible, développer la culture de la luzerne, qui végète très bien dans les terrains argileux du lias, même lorsqu'ils sont presque dépouillés de terre végétale.

» Ainsi le reboisement est restreint aux terrains granitiques d'une faible valeur, et comme ces terrains sont déjà excessivement boisés, on peut dire qu'il n'y a sous ce rapport que bien peu de chose à faire dans le bassin supérieur de la Seine.

Après la lecture de la lettre de M. Belgrand, M. Virlet ajoute que le plateau de la Brie, qui forme entre la Seine et la Marne un grand triangle de plus de 3,000 kilomètres carrés de superficie, et dont les angles aboutissent à Épernay, à Saint-Maur et à Moret, donne très rarement lieu, même par les plus grandes pluies, à des inondations locales. Cette circonstance tient à ce que ce plateau, étant composé en grande partie par les calcaires siliceux de la Brie, qui sont généralement fendillés, et par quelques lambeaux du terrain de sables et grès de Fontainebleau, il constitue, comme certains étages oolitiques de la Bourgogne, un véritable terrain absorbant. Seulement, celui-ci rend presque directement ses eaux à la Marne et à la Seine par une infinité de petites sources qui vont sourdre à la base des calcaires, au-dessus des couches de marnes gypseuses qui

forment le fond des vallées. Les eaux de ces nombreuses sources contribuent ainsi, même pendant les époques de sécheresse, à maintenir en partie l'étiage des affluents qui naissent sur ce plateau, et par suite celui de la Marne et de la Seine. En effet, appelé l'année dernière par le tribunal de Melun à donner, conjointement avec MM. Gentilhomme et Defresnes, ingénieurs des ponts et chaussées, un avis dans un procès très important, qui tenait précisément à cette curieuse circonstance géologique (1), j'ai pu constater que, même à la fin de la grande sécheresse qui a signalé l'été de 1846, ces sources n'avaient point tari complètement, et continuaient à alimenter les cours d'eau. Voilà donc une surface considérable du bassin supérieur de la Seine qui ne contribue que bien rarement, et seulement dans les cas de pluies torrentielles et subites, aux crues de cette ri-

(1) Il s'agissait de déterminer si le ru de Voisenon, qui fait tourner le moulin de Rubelles, suivait son cours naturel, ou s'il n'avait pas été détourné à cet effet par la main des hommes. Cette question grave et très importante pour tous les propriétaires riverains, menacés de se voir enlever une partie de leurs propriétés, était fort difficile à résoudre, car il n'y avait aucun travail d'art, et il s'agissait d'apprécier un fait qui remontait à des temps très reculés. Nous croyons cependant avoir résolu la question d'une manière incontestable en faveur des propriétaires riverains; car s'il est vrai de dire, en thèse générale, d'après les principes de l'hydrostatique, que les eaux tendent toujours à parcourir, à la surface du sol, *la ligne de plus grande pente*, ces principes ne sont cependant pas absolus, surtout dans le cas d'un plan très peu incliné, où la gravité qui meut la masse fluide est très petite pour vaincre les moindres obstacles qui s'opposent à la direction qu'elle tend naturellement à prendre, celle de la ligne de plus grande pente. Le petit ru de Voisenon présente un de ces cas exceptionnels; car son cours s'est trouvé en partie détourné de la ligne de thalweg, d'abord par les nombreux blocs de grès de Fontainebleau restés disséminés à la surface du sol, comme autant de témoins irrécusables des dénudations qui, dans cette contrée, ont enlevé successivement les parties meubles de ce terrain, et ensuite par une de ces lignes de surgissement aquifère que je viens de signaler à la base des calcaires siliceux, qui se manifeste sur le revers gauche du vallon de Rubelles, un peu au-dessus de la ligne de thalweg, et détermine, à la limite des alluvions fluviales récentes, une zone de sources qui, en tenant le sol constamment détrempe, a dû nécessairement y fixer de préférence le cours du ru qui venait déboucher en face, s'y mêler et s'y alimenter.

vière, et où le reboisement n'aurait certainement pas une très grande influence pour les empêcher.

A la suite de la lecture du travail de M. Belgrand, M. Rozet présente les observations suivantes :

Toute l'eau des météores atmosphériques, qui tombe à la surface de la terre, se divise en trois parties : une portion pénètre par infiltration dans le sol, une autre retourne dans l'atmosphère par l'évaporation, et le reste coule dans le lit des cours d'eau, en suivant les lignes de plus grande pente des surfaces.

Une grande partie de l'eau qui pénètre dans le sol est absorbée par les végétaux, dans l'intérieur desquels elle circule suivant plusieurs systèmes de vaisseaux capillaires. Une portion de celle-ci est certainement décomposée par la force de la végétation qui en absorbe l'oxygène, et le reste retourne dans l'atmosphère après avoir traversé les parties les plus délicates des branches et des feuilles.

Ainsi, de l'eau qui s'infiltré dans le sol, une partie seulement, la moitié peut-être, ce qu'il ne serait pas impossible de déterminer par des expériences, pénètre à une certaine profondeur; le reste ne dépasse pas la couche, toujours très mince, dans laquelle s'étendent les racines des plantes et des arbres. Cette portion, qui arrive au-dessous de la couche de terre végétale, est elle-même sensiblement diminuée par suite du desséchement de cette couche, produit d'une part par l'absorption des végétaux, et de l'autre par celui de sa surface exposée aux rayons du soleil et au frottement continuel des courants d'air.

La partie des eaux tombées sur la terre qui s'enfonce à une certaine profondeur est donc beaucoup moins considérable que ne le suppose M. Belgrand et qu'on ne le croit généralement. Celle-ci s'enfonce toujours en diminuant de volume, jusqu'à ce qu'elle rencontre une masse imperméable, comme une couche d'argile. Alors elle coule sur cette masse si elle rencontre entre elle et celle qui la recouvre des vides qui lui permettent de passer, ou elle s'imbibe dans la couche supérieure perméable comme dans une éponge.

L'eau qui suit la déclivité d'une masse imperméable vient former des sources sur les points où cette masse affleure à la surface du sol. C'est pourquoi il en existe un grand nombre au pied des escarpements de l'oolite inférieure, ayant pour base les marnes du lias, au pied des falaises du terrain crétacé, dont la base est formée

par le gault, etc. ; par leur réunion ces sources produisent des cours d'eau plus ou moins considérables.

L'eau imbibée dans une masse perméable des sables, des roches poreuses, vient aussi former des sources aux points d'affleurement de cette masse ; mais celles-ci présentent des différences assez notables avec les premières : le volume des eaux est beaucoup moins considérable et beaucoup moins variable en même temps, et le long des affleurements il existe beaucoup plus de suintements que de sources.

Si la masse imperméable, au lieu de présenter une surface déclive, se trouve creusée en bassin, l'eau s'accumule dans ce bassin jusqu'à ce qu'il soit rempli, et le passage par dessus les bords donne naissance à des sources considérables et dont le volume des eaux éprouve peu de variations. On croit qu'il existe un grand nombre de pareils bassins dans l'intérieur de la terre.

Le phénomène des puits artésiens est certainement dû aux eaux qui circulent dans l'intérieur de la terre. On a souvent écrit qu'ils sont alimentés par des cours d'eau souterrains, provenant des montagnes voisines : cela peut être ; mais ils sont aussi bien souvent dus tout simplement à l'infiltration des eaux des rivières à travers les couches perméables qui viennent affleurer dans leur lit, comme nous allons le prouver par quelques exemples.

M. Degoussée a établi, dans la ville de Châlon-sur-Saône, plusieurs puits forés, dont l'eau s'élève à peine à 1 mètre au-dessus de la surface du sol. Le fond de ces puits se trouve dans une couche de sable du grand terrain de transport du bassin de la Saône, reposant sur une puissante masse argileuse que l'on voit affleurer sur plusieurs points dans les berges de cette rivière, et qui doit appartenir à la partie supérieure du terrain tertiaire. Le sol du quartier de la ville où se trouvent les puits forés est à 180 mètres au-dessus de la mer, nombre qui exprime aussi l'altitude de l'étiage de la Saône à 6 lieues en amont. Le pied des montagnes, de l'intérieur desquelles on a cru que pouvaient provenir les eaux jaillissantes, est à 212 et 220 mètres au-dessus de la mer ; ce qui donne, avec le sol de Châlon, une différence *minimum* d'altitude de 32 mètres et montre bien que les eaux qui ne jaillissent que de 1 mètre ne peuvent en partir. En remontant la Saône jusqu'à Gray, on trouve 84 mètres pour l'altitude de l'étiage. C'est donc dans les environs de cette ville que doivent paraître, dans le lit de la rivière, les couches perméables, les sables et graviers inférieurs du terrain de transport ancien, qui amènent l'eau jusque sous Châlon.

Plusieurs faits ont démontré que les puits artésiens de Tours sont alimentés par des infiltrations de la Loire à travers les sables du grès vert.

Il est généralement admis que l'eau du puits de Grenelle provient des infiltrations de la Seine et de ses affluents aux environs de Troyes, dans le même étage géologique. Les sables verts qui sont à la surface du sol, entre Troyes et Bar-sur-Seine, n'ont été rencontrés à Grenelle qu'à 500 mètres de profondeur, et le jaillissement s'est produit dans des circonstances très remarquables. La colonne d'eau a apporté avec elle, et pendant plusieurs mois, une grande quantité de sable, et elle a été ensuite alternativement claire et chargée de sable jusqu'à ce qu'elle se soit tout à fait éclaircie.

Cette eau se trouvait donc imbibée dans la masse sableuse, et elle n'est devenue claire que lorsque l'ascension a eu produit autour de l'orifice inférieur du puits une cavité assez grande pour que l'eau, qui venait remplir cette cavité, ait eu le temps de déposer tout son sable avant de monter aux environs de Paris; le terrain crétacé forme un vaste bassin, une espèce de cuvette dont les sables verts occupent le fond. L'eau infiltrée dans ces sables, à une altitude inférieure de plus de 500 mètres à celle des points d'entrée, doit donc éprouver une énorme pression qui détermine son ascension dans les puits forés. Ce doit être là la cause la plus générale de l'élévation de l'eau dans ces puits. Quelques faits ont prouvé aussi que cette élévation pouvait être attribuée à des courants souterrains; mais ce cas s'est rarement présenté; encore ces courants peuvent-ils provenir de la pénétration de l'eau des rivières et des lacs à travers les fissures des roches et dans les cavités souterraines. Je ne nie pas cependant qu'il puisse exister de grands réservoirs d'eau dans l'intérieur de la terre, alimentés par celle qui tombe de l'atmosphère, donnant naissance à des courants; mais ces réservoirs ne sont pas aussi nombreux qu'on le croit généralement, d'après ce que nous avons exposé au commencement de cette note; et, bien certainement, la plus grande partie des eaux souterraines provient de l'infiltration des cours et des amas d'eau de la surface; l'eau de la mer elle-même pénètre dans les profondeurs du globe: on connaît plusieurs points sur les côtes où existent des gouffres qui l'absorbent continuellement; la grande quantité de vapeurs d'eau mélangée d'acide chlorhydrique et de sel marin qui sort par les événements volcaniques situés sur le bord de la mer prouve que celle-ci s'enfonce jusque dans les foyers d'éruption.

L'intérieur de la terre renferme donc, à diverses profondeurs,

des masses d'eau assez considérables, dont plusieurs circulent par les cavités des roches, à la manière des cours d'eau de la surface. Les eaux souterraines sont indispensables à la continuation de la vie sur la terre : sans elles point de sources, point de rivières, point de fraîcheur dans les temps de sécheresse ; car l'eau retenue dans la couche de terre végétale est bientôt absorbée par les plantes, qui ne tarderaient pas à périr, quand les pluies sont rares, si l'action capillaire des roches n'apportait continuellement dans cette couche une partie de l'humidité de celle qu'elle recouvre.

Si dans plusieurs éruptions volcaniques, dans certains tremblements de terre, celui de Lisbonne, par exemple, on a vu des masses d'eau sortir de l'intérieur de la terre et inonder tout le pays environnant, il est certain que lors de ces grandes catastrophes, qui ont donné naissance aux chaînes de montagnes, le même phénomène a dû se produire sur une très grande échelle. Là se trouve naturellement l'explication de ces puissants dépôts d'alluvions qui couvrent le fond des vallées et la surface des plaines, dans l'intérieur et de chaque côté de ces chaînes.

M. Pomel met sous les yeux des membres de la Société divers ossements de vertébrés fossiles du Bourbonnais, et fait les communications suivantes.

Note sur des animaux fossiles découverts dans le département de l'Allier (addition au Mémoire sur la géologie paléontologique, etc. *Bull.*, 2^e série, t. III, p. 353), par A. Pomel.

Depuis la communication que j'ai faite à la Société du premier résultat de mes recherches sur la faune fossile de l'ancien Bourbonnais, j'ai pu réunir de nouveaux et nombreux matériaux qui ont augmenté et rectifié un peu la liste des espèces qui habitèrent autrefois la fertile vallée de l'Allier. Les ossements que j'avais alors pu étudier provenaient presque tous des gisements de Vaumas explorés par M. Poirrier avec tant de zèle et de persévérance. Je ne connaissais des gisements si curieux de Saint-Gérand-le-Puy qu'un petit nombre de pièces, caractéristiques il est vrai, mais insuffisantes pour y prendre une idée complète de la faune de cette région. Actuellement, grâce aux bienveillantes communications de M. Van-den-Hecke, qui a consacré trois étés à la recherche des fossiles de Saint-Gérand, et surtout à celles de M. Feignoux, qui a bien voulu me confier pour l'étude sa belle collection paléontologique, fruit des récoltes faites dans les mêmes localités depuis de

nombreuses années, je suis en possession des matériaux les plus riches qu'on ait encore réunis pour l'histoire paléontologique des principaux bassins ossifères de la même époque. Je puis aussi ajouter, comme nouveaux et précieux renseignements, quelques déterminations de poissons fossiles que M. Agassiz a bien voulu me faire. J'ai cru qu'il était utile de résumer dans cette note les observations nouvelles que j'ai puisées aux sources précitées, afin de compléter le prodrome de la publication de tous ces fossiles que j'ai annoncée dans mon mémoire précédent.

Le genre *Amphicyon* a certainement vécu dans le bassin de l'Allier aux époques tertiaires. Trois espèces y sont parfaitement caractérisées. La plus grande est intermédiaire pour la taille aux deux espèces de Sansan ; nous en avons un arrière-crâne, des vertèbres nombreuses, cervicales, dorsales, lombaires, sacrées et coccygiennes, bassins, fémur, tibia, calcanéum, métatarsiens, phalanges, etc. La seconde espèce (*A. lemanensis*), identique à celle de Digoin, mais différente de l'*A. minor* de Sansan, est aussi parfaitement représentée par des pièces nombreuses et d'une belle conservation. Enfin, la troisième (*A. gracilis*), la plus petite connue, dont nous avons plusieurs mandibules, un humérus et plusieurs autres os, ne peut être non plus douteuse. On doit lui rapporter la mandibule du *Canis issiodorensis*, Blainv. (*Ost. fasc. Canis*). L'espèce établie sous ce nom, dans un manuscrit par M. Croizet, repose uniquement sur la mâchoire supérieure figurée dans l'ostéographie et trouvée dans un terrain pliocène à Perrier. Ce nom doit, du reste, devenir synonyme du *C. megamastoides*, que j'ai établi avant la publication de l'espèce par M. de Blainville.

Le *Canis brevirostris* a bien réellement deux tuberculeuses à la mandibule, et c'est par accident qu'un de nos échantillons était dépourvu de la dernière ; mais il ne nous paraît pas encore établi que cette espèce soit un vrai *Canis* ; la fracture de la mâchoire supérieure ne permet pas d'assurer s'il n'y avait que deux tuberculeuses.

Nous pouvons établir la série des molaires inférieures du *Viverra antiqua*, dont la tuberculeuse a des formes et des proportions si différentes de celles des espèces suivantes, qu'on pourrait former de l'animal auquel se rapportent ces débris, un sous-genre nettement caractérisé, qui paraît devoir renfermer deux espèces distinctes. Nous n'avons rien vu de nouveau qui puisse se rapporter au *Viverra primæva*.

Le genre *Plesictis* doit être maintenu et renfermer deux espèces ;

l'une, de la taille du Putois, indiquée par la pièce de M. de Laizer; l'autre, de celle de la Marte, reposant sur le crâne de la collection de M. Croizet. Nous avons le crâne probablement d'une troisième et les mandibules des deux autres. On doit exclure de ce genre toutes les pièces figurées dans l'Ostéographie autre que les crânes. 1° La mandibule de droite est un jeune âge du *Viverra antiqua*, puisque nous avons retrouvé, dans une pièce semblable, les germes de la carnassière et de la tuberculeuse de cette espèce. 2° La seconde mandibule est celle d'un nouveau genre caractérisé par une dentition intermédiaire à celles des Putois et des Martes, ayant de celles-ci les nombres, et de ceux-là les formes. Nous avons confirmé cette détermination par l'étude d'un crâne de la même espèce. Nous donnerons à ce genre le nom de *Plesiogale*. 3° La canine isolée de gauche est celle du *Lutra clermontensis* Croizet, qui est le *Lutra Valetoni*, G. St-Hil. Nous avons admis d'abord les rapprochements faits par M. de Blainville, parce que ne connaissant ces pièces que par des figures, il ne nous était pas possible d'en étudier tous les caractères; mais la simple inspection de fragments semblables nous ayant autorisé à établir les faits qui précèdent, nous avons eu la satisfaction de voir confirmer nos inductions sous les yeux même de M. Van-den-Hecke par l'observation successive de pièces plus complètes. Nous ne concevons pas trop non plus pourquoi M. Gervais, dans *Patria*, a considéré comme de la même espèce le Zorille découvert par M. Bravard dans des couches bien plus récentes, dans le pliocène de Perrier. La présence de trois avant-molaires seulement ne pouvait même pas le laisser supposer.

Le *Lutra Valetoni* n'est une Loutre que par la forme de ses membres, que nous possédons en entier; les deux tuberculeuses de son maxillaire en font un viverroïde, qui pourra porter le nom de *Lutrictis Valetoni*, pour indiquer cette combinaison de caractères.

Nous n'avons rien à ajouter aux articles des *Megantheron* et *Pterodon* (1), dont nous n'avons pu constater la présence dans les deux collections que nous avons étudiées.

Nous possédons les éléments d'une description complète du *Steneofiber*, qui a les proportions d'un Castor et la moitié seulement de ses dimensions.

Un *Lagomys* très petit nous a été signalé par de nombreuses mandibules, des humérus, bassin, fémur, tibia.

(1) Voyez à la suite de cette note celle sur le *Pterodon*.

A Saint-Gérard, il n'a encore été trouvé aucun débris de *Dinotherium* ni de Tapir. Le Rhinocéros n'y paraît pas commun, mais dans d'autres localités, plus voisines des Puys-de-Dôme, on a trouvé de nombreux débris qui nous permettront d'établir facilement que le *Rhinoceros incisivus*, de Bl. (non Cuv.), renferme au moins quatre espèces pour la vallée de l'Allier seulement, et qu'il est impossible de lui rapporter le *Rh. elatus*, comme l'a supposé le même auteur.

Près des *Anthracotheriums*, des *Cheropotamus* et des Cochons, se place un genre nouveau, tétradactyle comme ceux-ci, dont les molaires, au nombre de sept au maxillaire, se composent de trois mâchelières à quatre gros tubercules coniques simples, les intérieurs étant un peu dilatés transversalement et ayant une lame qui se porte devant le tubercule opposé. Cette lame est double dans le postérieur et enveloppe complètement le cône externe postérieur; aucune partie ne présente les tubercules et petits mamelons des dents analogues dans les Cochons; les avant-molaires se compliquent de plus en plus de la première biradiculée, et probablement comprimée et tranchante, à la quatrième à trois tubercules, deux externes conjoints, l'interne en forme de crête ou croissant et limitant en arrière une petite fosse. Ces dents sont toutes contiguës entre elles et avec la canine, dont l'alvéole est ovale presque elliptique, et assez peu développée. Les alvéoles des trois incisives sont presque disposées sur le prolongement du bord alvéolaire des molaires, ce qui indique un museau très étroit; les dents étaient sans doute obliques en avant, et la première paire était aussi grosse, dans sa partie radiculaire du moins, que la canine; la troisième était la plus petite. De la mandibule nous ne connaissons que les trois arrière-molaires; les deux premières sont assez semblables à leurs analogues d'en haut, sauf plus d'égalité dans les tubercules, mais la dernière est augmentée d'un gros talon formé d'un mamelon trilobé ou plutôt divisé en trois tubercules grossissant du premier au troisième, et flanqués de deux autres plus petits, un de chaque côté; ce qui indique une certaine analogie avec le Cochon.

Il est facile de voir que ce genre n'est identique ni au *Cheropotamus*, ni au *Hyotherium*, ni aux Cochons, et qu'il peut recevoir une appellation générique particulière, celle de *Palæocherus*, qui rappellera les analogies du fossile. Nous en connaissons deux espèces, l'une (*P. major*) dont la quatrième avant-molaire a ses deux tubercules externes bien séparés; l'autre (*P. typus*), plus

petite, dont la même dent n'a qu'un tubercule externe à peine bifurqué.

Nous avons dit que ce genre était *tétradactyle*; en effet, nous avons un Métacarpien et un Métatarsien *medius* de la grande espèce, et un analogue de la petite, qui ne peuvent laisser de doute à cet égard.

Nous avons aussi quelques pièces nouvelles d'*Anthracotherium*, qui ajouteront de précieux renseignements à ceux qui nous avaient été d'abord fournis.

Mais c'est surtout pour le *Cainotherium* que nous serons plus que tout autre en position d'en faire connaître l'ostéologie dans ses plus petits détails; le nombre prodigieux des pièces, leur conservation parfaite, permettront de caractériser facilement et sûrement les formes spécifiques nouvelles qu'elles indiquent. Nous pouvons déjà affirmer qu'il en existe quatre distinctes dans les terrains du Bourbonnais, et qu'elles paraissent toutes différentes de celles du Puy-de-Dôme, observées par M. Bravard. Deux paraissent se rapporter aux *Anoplotherium laticurvatum* et *cyclognatum*; mais ce ne sont point les mêmes qu'ont décrites MM. de Laizer et de Parieu. Une seconde espèce, plus petite que les deux précédentes, se rapproche du *C. commune*; elle se nommera *C. elegans*. Enfin, de nouvelles pièces du *C. leptorynchum* me portent à changer ce nom en celui de *gracile*, qui indiquera la forme de ses ossements, remarquables par leur gracilité; c'est la plus petite de toutes.

Nous avons enfin pu résoudre le problème de la détermination des *Dremotherium* G. St-Hil., à l'aide des belles pièces de la collection de M. Van-den-Hecke, qui en possède un squelette complet. Les animaux, ainsi nommés par M. Saint-Hilaire, d'après des pièces de la collection de M. Feignoux, sont très voisins des *Amphitragulus* et n'en diffèrent que par l'absence d'une première avant-molaire à la mandibule, et par la barre de celle-ci bien plus allongée, en faisant même abstraction de la première dent des *Amphitragulus*. Nous croyons pouvoir admettre deux espèces dans ce dernier genre, et trois dans les *Dremotherium*.

Dans notre précédente note, nous annoncions cinq espèces de Tortues appartenant aux genres *Testudo*, *Emys*, *Emysaura* ou *Chelydra*, *Trionyx*.

Le *Testudo* est différent du *T. gigantea*, Bravard, et ne paraît pas avoir atteint des proportions aussi colossales; nous en avons étudié un plastron qui a modifié notre première opinion établie sur

des pièces trop incomplètes pour fournir des caractères certains. Aujourd'hui nous serions même porté à distinguer dans ces débris deux formes distinctes, malgré le peu de matériaux que nous avons pour résoudre ce problème.

Avec une carapace dont les formes sont propres aux Tortues terrestres, des *Cheloniens* de cette contrée portaient un plastron remarquable par plusieurs caractères, mais surtout par la mobilité des troisième et quatrième paires de pièces qui constituent la moitié postérieure du plastron. Cette mobilité est surtout déterminée par le peu d'étendue des échancrures destinées au passage des membres postérieurs; elle était nécessaire pour que ceux-ci aient pu facilement fonctionner dans l'acte de la marche. On ne connaît encore (à ma connaissance) que des Tortues dont la partie antérieure du plastron soit seule mobile, tandis que dans les fossiles cette même partie est très solidement fixée à la carapace dans toute son étendue.

Ce nouveau genre (*Ptychogaster*) comprend deux espèces au moins qui n'ont pas atteint de grandes dimensions, et qui seront décrites d'après des carapaces et des plastrons complets.

A l'exception de quelques morceaux assez instructifs sur les formes du *Trionyx* fossile du même gisement, nous n'avons rien ajouté à ce que nous possédions déjà des autres espèces.

Nous avons maintenant deux espèces de Crocodiles, caractérisées par des têtes presque entières et de nombreux ossements du reste du squelette, qui appartiennent au genre Caïman (*Alligator*), mais qui pourraient constituer dans ce genre une section caractérisée par la plus grande étendue des deux fosses du crâne, et surtout par la disposition des dents. Ce sont, en effet, les troisième et quatrième dents de la mandibule qui, très rapprochées, très fortes et presque égales, pénètrent ensemble dans la cavité de la mâchoire supérieure située à la réunion du maxillaire et de l'intermaxillaire; les dents sont aussi moins nombreuses que dans les espèces vivantes. On peut les nommer *Diplocynodon*.

Les poissons des mêmes terrains tertiaires, dont M. Poirrier a récolté de nombreux ossements, malheureusement isolés, appartiennent à la famille des Perches. M. Agassiz a reconnu qu'ils différaient génériquement des Perches vraies, quoique très voisins; mais leur détermination rigoureuse ne pourra être faite que lorsqu'on possédera une partie notable du squelette articulé, ou bien une portion d'empreinte.

Ces poissons des terrains tertiaires ne sont pas les seuls qui aient

été récoltés dans le Bourbonnais. M. Poirrier nous a aussi adressé des débris récoltés par lui dans le terrain houillier de Bert, et M. Agassiz, qui a eu la bonté de les étudier, y a reconnu des formes tout à fait analogues à celles observées exclusivement dans les poissons des terrains houillers d'Angleterre; ces poissons sont : 1° Le *Diplodus paradoxus*; 2° un genre nouveau voisin des *Eugnatus* par la forme de ses écailles; 3° des *Tristichius*; 4° un poisson cartilagineux nouveau, malheureusement en assez mauvais état, mais qui présente une partie de la colonne vertébrale, des côtes, et une empreinte considérée par M. Agassiz comme un débris de l'épaule.

Les bassins voisins, et spécialement celui de Commeny, renferment aussi un assez grand nombre de poissons d'un genre nouveau, voisin des *Palæoniscus*, d'après les observations de M. Agassiz.

Nous terminerons cette liste des animaux fossiles du département de l'Allier, par l'indication d'un insecte trouvé par M. Feignoux dans les calcaires concrétionnés de Saint-Gérard-le-Puy. C'est un abdomen complet avec les insertions des deux paires postérieures de pattes, qui présente de grandes ressemblances avec celui des *Lamelli-antennes*, sa taille est celle du Hanneçon ordinaire.

Si nous résumons les observations qui précèdent, nous voyons que la faune des terrains miocènes du Bourbonnais se compose actuellement de douze carnassiers, quatre rongeurs, quatorze pachydermes, cinq ruminants, de nombreux oiseaux, douze reptiles, d'un ou deux poissons, un insecte, et des Hélices, Lymnées, Paludines, Cérithes, Cyrènes et Unios. Ainsi nous connaissons soixante vertébrés au moins, tandis que dans notre première note nous n'en avions signalé que quarante, ce qui fait une différence en plus de moitié. Ces nombres devront encore certainement s'accroître, car les mêmes terrains, à quelques pas de là, ont présenté bien d'autres espèces mêlées à quelques unes de celles que nous venons de signaler. C'est donc encore une confirmation de ce qu'a dit Cuvier dans son bel ouvrage sur les fossiles : « Le temps complètera les êtres dont ces débris font encore conjecturer l'ancienne existence, et je ne doute pas qu'à mesure que l'on achèvera ainsi les découvertes déjà commencées, des découvertes nouvelles ne se multiplient, et que dans quelques années peut-être je ne sois réduit à dire que l'ouvrage que je termine aujourd'hui ne sera qu'un léger aperçu, qu'un premier coup d'œil jeté sur

ces immenses créations des anciens temps. » (*Rech. sur les oss. foss.*, in 4, t. V, 2^e part., p. 487).

Explication de la planche IV.

- Fig. 1. *Palaeotherus typus*. . . mâchoire supérieure.
 2. — *major*. . . 7^e molaire inférieure.
 3. *Plesiogale angustifrons*. . mâchoire supérieure.
 4. *Plesictis Croizeti*. . . . mâchoire inférieure.
 5. *Lutrictis Valetoni*. . . . mâchoire supérieure.
 6. *Steneofiber castorinus*. { mâchoire supérieure,
 mâchoire inférieure.
 7. *Dremotherium Feignouxi*, mâchoire inférieure.
 8. *Amphitragulus elegans*. { canine,
 mâchoire inférieure.
 8. *Ptychogaster emydoides*. . plastron.
 10. *Diplocynodon Ratelii*. . bord antérieur du dentaire.

Note sur le Pterodon, genre fossile voisin des Dasyures, dont les espèces ont été trouvées dans les terrains tertiaires des bassins de Paris, de la Loire supérieure et de la Gironde, par A. Pomel.

Les animaux fossiles dont il est question dans cette note ont été déjà le sujet de plusieurs travaux que nous allons analyser.

Les premières pièces connues ont été décrites et figurées par G. Cuvier, en 1825, dans le tome III de ses *Recherches sur les ossements fossiles*, p. 269 et suivantes. Elles ont été considérées comme indiquant un genre de carnassier voisin des *Coatis* et des *Ratons* ; mais l'état imparfait de leur conservation ne pouvait permettre d'en reconnaître alors les véritables analogies, et l'incertitude de cette détermination provisoire fut accusée par la non-crétion d'un nom linnéen particulier pour le type générique spécial, que l'auteur reconnaissait dans cet animal.

Le nom de *Nasua parisiensis*, qui est certainement en opposition avec les opinions de Cuvier, n'a été créé que par les paléontologistes nomenclateurs.

Dès 1828, une nouvelle pièce étant venue compléter les éléments de la détermination, Cuvier se hâta d'annoncer à l'Institut que son animal voisin des Coatis et des Ratons était un *Didelphie* voisin des Dasyures, genre exclusivement propre à l'Australasie. C'était, en effet, un fait bien plus important que celui de l'existence dans les mêmes couches d'un Didelphie du genre des Sarigues, vivant de nos jours dans l'Amérique du Sud.

En 1838, MM. de Laizer et de Parieu, dans un Mémoire lu à l'Institut, décrivirent, sous le nom de *Hyænodon leptorynchus*, la mandibule complète d'une espèce du même genre. Les auteurs, ne reconnaissant pas l'analogie générique de leur animal avec celui découvert par Cuvier, crurent trouver, au contraire, une certaine ressemblance avec le genre Hyène, mais ils furent aussi portés à penser qu'il aurait pu appartenir à la sous-classe des Didelphes, ce qui fut même annoncé par M. Buckland. Toutefois, dans un résumé de leur Mémoire, inséré dans les *Annales des sciences naturelles*, 1839, ils abandonnèrent cette dernière thèse, qui avait été rejetée par M. de Blainville dans son rapport sur le Mémoire des auteurs.

C'est à M. Dujardin qu'est dû le mérite d'avoir reconnu le premier que le genre *Hyænodon*, dont il décrivait une nouvelle espèce, était le même que le Dasyure des plâtrières de Paris, comme il l'a annoncé dans un Mémoire présenté à l'Institut, et inséré dans les *Comptes-rendus des séances*, p. 134, an 1840.

M. de Blainville, dans l'*Ostéographie des carnassiers*, a dû figurer et décrire de nouveau tous les débris fossiles dont il vient d'être question, et il l'a fait, en effet, en partie dans le fascicule du genre *Subursus*, en partie dans celui du genre *Canis*, et dans une manière de voir qui est tout à fait différente de celles des observateurs précités. Il a cru reconnaître dans ces divers débris les types de trois genres distincts et très différents, dont les noms linnéens sont : *Pterodon*, *Taxotherium*, *Hyænodon*.

Le premier genre, reposant sur la pièce d'après laquelle G. Cuvier avait annoncé l'existence d'un Dasyure fossile, a été établi dans la *Monographie des Subursus*, p. 48, après l'observation, toutefois, que ce n'était pas un petit Ours; mais sans indiquer ses analogies. Comparant cette pièce avec l'analogue des genres de carnassiers vivants, l'auteur établit facilement que le *Pterodon* ne ressemble à aucun des genres monodelphes connus; mais ses raisons nous paraissent moins concluantes pour les Dasyures *ourson* et *cynocéphale*, surtout pour ce dernier; car les différences signalées dans les deux premiers alinéas de la page 54 ne sont relatives qu'aux formes de détail, aux caractères spécifiques, qui ne sauraient être pris en considération pour la détermination des divisions supérieures, reposant, au contraire, sur les formes en général et les fonctions de chacune des parties. La conclusion principale est que ce ne peut être un Didelphe, surtout à cause de l'absence des lacunes d'ossification dans le palais.

Le second genre est décrit dans le même fascicule, page 55,

comme appartenant évidemment au genre des Petits-Ours, et surtout à une forme très voisine du Blaireau (*Meles taxus*), d'où le nom générique a été tiré. Après avoir fait ressortir par tous les moyens possibles, quelquefois même sans raison suffisante, suivant nous, et surtout sans une appréciation exacte des éléments de comparaison qui étaient entre les mains du créateur de l'anatomie comparée lors de ses diverses publications, l'auteur conclut que le crâne est plutôt celui d'un Blaireau que d'un Didelphe; que les dents n'ont aucun rapport avec celles du *Pterodon*, et qu'elles sont omnivores comme dans les Blaireaux, ayant pour

formule : $\frac{3+1+6}{+1+6}$ dont $\frac{3+1+2}{3+1+2}$, c'est-à-dire en haut six

molaires, trois avant-molaires, une carnassière et deux tuberculeuses ou mieux une seule très grande, comme dans les Blaireaux, et en bas trois fausses molaires, une principale, c'est-à-dire encore une avant-molaire, celle qui précède la carnassière, comme l'avait bien reconnu Cuvier, accusé à tort de n'en avoir pas fait une principale, ce qu'il ne pouvait faire, puisque sa désignation était différente de celle adoptée par M. de Blainville; enfin les incisives, au nombre de trois seulement, ne peuvent, suivant lui, laisser supposer un animal voisin des Didelphes. Remarquons que c'était à peu près le même résultat auquel était arrivé d'abord Cuvier, puisque les Blaireaux, les Coatis et les Ratons ne sont, pour M. de Blainville, que des espèces du même genre.

Il est question du troisième genre (*Hyænodon*) dans le même fascicule des *Subursus*, mais seulement pour dire que l'*Hyænodon* de M. Dujardin ne peut se rapporter en même temps au *Taxotherium* ou prétendu Coati et au *Pterodon* ou prétendu Dasyure, et qu'il est probable qu'il ne ressemble ni à ceux-ci ni à l'*Hyænodon leptorynchus*, mais que c'est encore une forme animale distincte, de l'ordre des carnassiers monodelphes, du genre des *Subursus* ou des *Canis*, ce qui ne peut être décidé: singulière hésitation!

C'est, en effet, dans ce genre *Canis* que se trouve placé celui des *Hyænodon* avec ses deux espèces, comme en constituant un sous-genre, un groupe d'espèces hyénoïdes, qui ne sont pas peut-être de véritables Chiens (p. 111, *Ostéog. des Canis*). Disons d'abord que la pièce décrite par MM. de Laizer et de Parieu ne provient pas du *terrain diluvium ancien* de Gergovia, mais bien des couches lacustres miocènes de calcaire marneux, dont la pièce a conservé encore une partie notable. D'après l'auteur, l'*Hyænodon leptorynchus* doit avoir présenté dans le genre Chien la disposition la plus carnivore, de même que le *Megalotis* offre

la plus omnivore, « toutefois, il faut en convenir, dans une combinaison de nombre, de forme et de proportion tout à fait particulière, et ne pouvant entrer que fort difficilement dans la série des espèces, telle que nous l'avons établie. »

De la comparaison du fossile de M. Dujardin, il résulte que c'est bien un *Hyænodon* d'une nouvelle espèce (*H. brachyrynchus*); mais son rapprochement avec le *Taxotherium* est bien plus douteux, surtout pour la mandibule. Toutefois on ne peut nier qu'il n'y ait certaines ressemblances entre eux, mais on ne pense pas que les éléments actuellement connus soient suffisants pour décider la question du *Taxotherium*. Néanmoins ce ne peut être un genre de Didelphes, à cause des différences dans le nombre des incisives, dans la forme du palais et du temporal, et dans le rétrécissement post-orbitaire.

On voit donc qu'il y a déjà dans l'opinion de M. de Blainville bien moins de certitude pour la distinction du *Taxotherium* et de l'*Hyænodon*, et par conséquent du *Pterodon*, dont il n'est plus question. Il n'est même pas bien certain pour lui que ce soient plutôt des Digitigrades que des Plantigrades, des *Subursus* que des *Canis*, et on est obligé d'avouer qu'il faudrait plus d'éléments pour décider cette question.

Avant d'établir la facilité de cette solution avec les matériaux que l'on possède, nous devons dire que nous avons exprimé nous-même notre opinion sur les rapports de ces divers genres entre eux dans le *Bull. Soc. géol.*, 2^e série, t. I, et ajouter que nous ne comprenons pas que M. Cuvier ait pu dire que le *Pterodon* ressemblait plus au Dasyure ourson qu'au Dasyure cynocéphale; car c'est évidemment le contraire aussi bien pour le nombre que pour la forme des diverses parties du système dentaire. (*Voy. Patria, zool.*)

On a pu déjà reconnaître par ce qui précède que nous voulons établir que les genres *Pterodon*, *Taxotherium* et *Hyænodon* reposent sur des parties différentes du squelette, ou mieux de la tête d'un même genre d'animaux fossiles, ces parties étant: les arrièremolaires supérieures pour le premier, la portion antérieure de la mâchoire et de la série dentaire pour le second, en y comprenant certains os des membres, parmi lesquels plusieurs ont certainement appartenu à d'autres types (*Humerus*, par exemple), et enfin la mandibule pour le dernier. En second lieu, ces animaux ne peuvent certainement pas avoir appartenu au genre des Petits-Ours, pas même à celui des Chiens; quelque extension que l'on prête à ces appellations génériques, et quelque élargissement que l'on donne

à la caractéristique dentaire, ils ne peuvent qu'être placés dans la sous-classe des Didelphes, à côté des Thylacynes, qu'ils lient plus intimement aux carnassiers monodelphes.

Nous ne parlerons ici que de la tête et du système dentaire, parce que c'est de tout le squelette la partie qui fournit les meilleurs et les plus sûrs éléments de la détermination. La dentition complète du *Dasyure* fossile se compose de trois incisives aux deux branches, une canine et sept molaires. Ces dernières sont divisées en trois fausses molaires en haut et quatre en bas, trois carnassières de chaque côté et une tuberculeuse seulement en haut. Ce

qui peut se traduire par la formule $\frac{3}{3} + \frac{1}{1} + \frac{7}{7}$ dont $\frac{3}{4} + \frac{3}{3} + \frac{1}{0}$,

qui conviendrait également au *Dasyure cynocéphale* ou *Thylacyne* s'il y avait une incisive de plus en haut.

Cette différence est une des principales objections que l'on fait pour retirer les fossiles de la classe des Didelphes; mais elle perd toute sa valeur depuis que l'on sait que ce nombre de quatre incisives n'est pas constant dans les Didelphes, et que le nombre trois s'y trouve aussi dans un type particulier. Ce nombre et la forme même des incisives nous sont connus dans le fossile, pour l'intermaxillaire dans le fragment des plâtrières de Paris et dans le *Hyænodon brachyrynchus*, pour la mandibule dans les deux *Hyænodontes*.

Le nombre des fausses molaires est fourni, pour les deux branches par le fossile de M. Dujardin, pour la mâchoire par le *placide* figuré par Cuvier, et par une pièce de notre collection, appartenant à l'*H. leptorynchus*; dans le *Pterodon*, la première est tombée, ce qui réduit le nombre à deux; pour la mandibule nous les trouvons dans celle des plâtrières, la première étant aussi perdue, et dans l'exemplaire de M. Laizer. A première vue, la forme de ces dents, dans les fossiles et dans le *Thylacyne*, paraît assez différente, mais ces différences restent dans des limites génériques; car elles ne sont même pas plus grandes entre les deux espèces d'*Hyænodon*, qu'entre ceux-ci et le *Thylacyne*; elles tiennent simplement aux différences de longueur dans le museau. Ce qu'il importe seulement d'établir ici, c'est que ces dents sont au nombre de $\frac{3}{4}$ dans

les deux genres, et qu'elles ne s'éloignent aucunement des formes affectées par cette sorte dans les carnivores didelphes et monodelphes. En outre, la forme hyénoïde des deux dernières de la mandibule des *Hyænodon* se retrouve dans celle du *Taxotherium*, où de plus la seconde est en crochet semblablement disposé; on

peut, en effet, remarquer que les premières ont leur côté oblique en arrière, et que les deux autres ont ce même côté placé en avant dans les deux prétendus genres, ce qui ne se voit certes pas dans le Blaireau.

Les carnassières supérieures nous sont données par le *Pterodon* dans un état remarquable de conservation; dans l'*Hyænodon brachyrynchus*, elles sont très mutilées, et plus encore dans une pièce que nous possédons de l'*Hyænodon leptorynchus*. Le *Taxotherium* nous donne la première et les racines ou alvéoles des deux autres; car les quatre ou cinq alvéoles pour une dent simple, indiquées par M. de Blainville d'une manière vague et pour ainsi dire fugitive, sont réellement au nombre de six, deux antérieures fort serrées pour chaque dent, et une postérieure simple dans des positions et des proportions qui conviennent parfaitement à un système dentaire semblable à celui du *Pterodon* et nullement à une ou deux tuberculeuses dans la supposition d'un système omnivore. L'iconographie de l'ouvrage de M. de Blainville a rendu parfaitement cette particularité du *Taxotherium*. Les carnassières inférieures nous sont connues dans les deux *Hyænodon*, et surtout dans le *leptorynchus*, par deux sujets différents. Dans toutes ces pièces, il est évident qu'on ne peut donner d'autre signification aux dents que nous considérons comme des carnassières; en effet, non seulement elles en ont la forme, mais elles en remplissent aussi toutes les fonctions; car les inférieures sont en contact par leur face externe avec la face interne des supérieures, ces deux dents faisant ensemble dans la mastication l'office d'instrument tranchant à deux lames croisées, comme toutes les carnassières, tandis que les tuberculeuses sont en contact par leurs couronnes, et que les avant-molaires s'engrèvent entre elles comme des dents de rouages. On ne peut contester par conséquent l'existence de trois carnassières aux deux mâchoires des fossiles; et comme ce nombre n'existe dans aucun carnassier monodelphe, et qu'il se retrouve dans les Dasyures ourson et cynocéphale, dont il fait un des caractères les plus remarquables, nous nous croyons en droit de conclure, sinon l'identité générique, du moins toute l'analogie nécessaire entre des genres du même ordre, de la même famille. C'est en vain qu'en scrutant les formes de détail, on trouvera que dans le *Thylacynus* les tubercules de la base postérieure des carnassières sont plus développés que dans les fossiles, et que les lobes moins ailés y ont aussi quelques particularités différentielles dans leurs proportions relatives; on ne pourra pas établir que la fonction de ces dents ne soit pas la même dans les vivants et les fossiles, et

que ces combinaisons de nombre et de forme existent ailleurs que dans les mêmes types que nous comparons, et c'est ici, en réalité, que repose toute la question. C'est même un caractère tellement remarquable, que la connaissance d'une seule mâchoire forcerait *à priori* à admettre que l'opposé renfermait les mêmes éléments, c'est-à-dire que le *Pterodon* avait trois carnassières à la mandibule, et que l'*Hyænodon* avait également trois carnassières à son maxillaire, et que dans ces deux prétendus genres les proportions relatives, dans les diamètres antéro-postérieurs de chacune de ses dents, devaient être semblables; qu'elles devaient également croître de la première à la troisième; ces seules considérations devaient faire reconnaître entre le *Pterodon* et l'*Hyænodon* les plus grandes ressemblances; et, nous ne craignons pas de le dire, raisonner autrement serait absurde, et vouloir faire admettre d'autres principes serait renverser toutes les bases sur lesquelles repose la bonne anatomie comparée, et par conséquent la bonne zoologie.

Pour compléter la ressemblance des fossiles que nous rangeons dans le genre *Pterodon* avec le *Thylacyn*e, il ne resterait plus qu'à établir l'existence derrière les carnassières d'une petite tuberculeuse plus ou moins transverse au maxillaire seulement. Or, cette dent a existé; on en a la preuve convaincante dans le crâne figuré par Cuvier, t. III, pl. LXIX, fig. 4, par l'existence de son alvéole interne, parfaitement rendue dans le dessin, à la naissance de l'arcade zygomatique du côté gauche. Ce fait établit une particularité remarquable dans l'étendue postérieure du maxillaire, qui sert ainsi à former une partie latérale notable de l'arcade, laissant à la face palatine une échancrure profonde entre lui et le palatin. Il est même facile de reconnaître que l'existence de cette dent et sa place étant ainsi déterminées, il doit y avoir dans l'échantillon de la même planche, fig. 2, derrière les trois racines de la seconde carnassière, les trois alvéoles de la troisième, plus séparées, puisque cette dent était plus large, et c'est en effet ce qui a lieu; car ces alvéoles, fort bien représentées dans l'iconographie de l'ostéographie, sont aussi indiquées, à l'exception de l'antérieure externe, dans la figure des recherches sur les ossements fossiles. Il est également facile de voir que la tuberculeuse n'a pas laissé de traces à la place qu'elle occupait dans la fig. 4. On trouve donc encore là une preuve que le *Taxotherium* ne peut être un *Blaireau*, et que l'intervalle compris entre la carnassière conservée et le bord postérieur du maxillaire était occupé par deux carnassières plus ou moins semblables

à celles du *Pterodon*, et ces dents ne peuvent être autre chose que des carnassières dont les racines ont des formes et des nombres constants et particuliers tels que nous les trouvons dans le fossile.

On peut donc conclure de l'examen du système dentaire : 1° que les *Pterodon*, *Taxotherium* et *Hyænodon* ne constituent pas des genres particuliers, et qu'il est impossible de les placer dans les genres des *Subursus* et des *Canis*, quand même on voudrait les séparer ; 2° que le genre auquel ils ont appartenu offre dans sa dentition les caractères essentiels de deux animaux de l'ancien genre des *Dasyures*, c'est-à-dire une plus grande complication dans les nombres de la partie carnassière, de même que les insectivores didelphes comparés aux monodelphes présentent une augmentation constante dans la même partie du système, c'est-à-dire dans les mâchelières insectivores. Mais le genre fossile se distingue par l'absence d'une quatrième paire d'incisives à l'intermaxillaire. Il doit donc recevoir un nom linnéen spécial qui permette de le ranger à côté des *Thylacyns* dans l'ancien grand genre des *Dasyures*, où il constituera une forme plus voisine des monodelphes que le genre précité, qui, comme on le sait, a déjà ses os marsupiaux réduits à des cartilages. Le nom de *Taxotherium* doit être rejeté comme essentiellement impropre ; celui de *Hyænodon* l'est presque autant, puisqu'il rappelle un genre qui n'a aucun rapport avec les fossiles, cependant il a la priorité. Le nom de *Pterodon*, indiquant la disposition si caractéristique des trois carnassières, nous semble en tout préférable aux deux autres, et devoir être adopté, en lui donnant une plus grande extension générique, ou plutôt une interprétation différente de celle pour laquelle il a été créé.

Le genre *Pterodon* Pom. (non Blainv.) devra renfermer quatre espèces : 1° *P. Parisiensis*, Blainv. ; 2° *P. Cuvieri* (*Taxotherium*, Blainv.), différentes par leurs avant-molaires supérieures, et appartenant toutes deux aux gypses de Paris ; 3° *P. leptorynchus* (*Hyænodon leptorynchus*, Laiz. et Par.), d'Auvergne ; 4° *P. brachyrynchus* (*Hyænodon*, Dujard.), du Tarn ; ces deux derniers trouvés dans des couches miocènes.

On a encore objecté à cette manière de voir l'absence des lacunes d'ossification du palais ; il est facile de voir que c'est un caractère tout à fait secondaire ; car dans les insectivores monodelphes, par exemple, ces lacunes existent dans certains genres, *Macroscelis*, *Erinaceus*, et manquent dans beaucoup d'autres. En second lieu, on ne peut méconnaître que si le rétrécissement post-orbitaire

n'est pas aussi prononcé que dans le *Thylacyné*, il n'en est pas moins évident que le crâne des fossiles est singulièrement réduit des proportions qu'il a dans les carnassiers monodelphes, par où il est plus semblable aux didelphes; et enfin, lorsqu'on considère que l'angle de la mâchoire a son apophyse bien moins saillante à l'interne dans le *Dasyure thylacyné* que dans le *Dasyure ourson*, et que celui-là tient évidemment le milieu entre celui-ci et l'*Hyænodon* (car il est inexact de dire que ce dernier a l'apophyse angulaire comme les *Canis*), on est en droit de conclure que le *Pterodon* ne peut être rejeté, pour ce caractère, de la sous-classe des Didelphes, et que tout au plus cette particularité tend à le rapprocher un peu plus des vrais carnivores monodelphes, comme cela a aussi lieu pour la partie incisive de son système dentaire.

M. le vice-secrétaire donne lecture d'une note de M. Chaubard, ayant pour titre :

Observations relatives à la note de M. Constant Prévost sur les ossements fossiles de Sansan, insérée au Bulletin du 2 mars 1846, p. 338 et suiv. ; par M. A. Chaubard.

L'autorité d'un géologue aussi célèbre et aussi consciencieux que M. Constant Prévost ne pouvant manquer de faire sensation sur les personnes qui ne connaissent pas le bassin de la Garonne, j'ai cru qu'il était de mon devoir de redresser quelques assertions qui, dans sa note sur les ossements fossiles de Sansan, m'ont paru peu exactes.

1° Selon M. Constant Prévost, c'est presque toujours près de la surface, dans des matières meubles ou peu consistantes, que les fossiles du bassin de la Garonne ont été rencontrés et se rencontrent tous les jours (p. 339 et 340). Si M. Constant Prévost eût dit que dans sa course au travers du bassin de la Garonne, il n'a vu, dans les collections, que des fossiles recueillis dans les terrains meubles et principalement dans les terrains de la grande formation de transport, fort improprement dite *diluvium* par certains géologues, son assertion serait l'expression de la vérité. Mais M. Constant Prévost parle sans restriction, et là est l'inexactitude. Ce n'est pas seulement dans le terrain meuble de la grande formation de transport, composé de gravier, de sable et de marne, et qui a tout recouvert dans le bassin de la Garonne, que se trouvent les dépouilles fossiles. On en rencontre pour le moins autant et plus même dans les roches du troisième étage de sable et cal-

caire qui , de part et d'autre de la Garonne , s'élève à 150 mètres ou environ au-dessus de la mer. Mais ceux-là sont rarement recueillis et ne peuvent l'être , parce qu'ils sont engagés dans un calcaire gris tellement dur et compacte , qu'il supporte le poli gras du marbre noir. C'est au reste à ce troisième étage de sable et calcaire qu'appartient la sommité même de Sansan , ainsi que celle de toutes les collines du second ordre au S. de la Garonne. Si le sommet de la colline de Sansan a fourni tant d'espèces à la science , c'est parce qu'en cette localité la facilité de les extraire du rocher presque avorté de ce lieu , et surtout le zèle aussi louable que rare de M. Lartet , sont venus en aide à la science. Ce troisième étage de sable et calcaire , auquel appartient le sommet de Sansan , est caractérisé dans la contrée par un horizon géognostique facile à saisir et qui fait rarement défaut. C'est un banc de grosses Huîtres , grandes comme la main , connues à l'état vivant sous le nom d'*Ostrea hypopus* , et à l'état fossile sous les dénominations d'*O. longirostris*, *O. crassissima*, *O. virginica* qui n'en sont que des variantes liées entre elles par tous les intermédiaires désirables. Ce banc se trouve en place , dans cette contrée , au-dessus de ce troisième étage de sable et calcaire , partout où le quatrième étage est venu le recouvrir. Autrement les Huîtres se rencontrent dans les champs où il est aisé de les trouver , surtout après une pluie qui , en les lavant , leur rend leur blancheur et leur forme. Ainsi , ce n'est pas seulement dans les terrains meubles et à la surface que se trouvent les fossiles du bassin de la Garonne , comme a dû le croire M. Constant Prévost à l'inspection des collections , mais encore et avec plus d'abondance même dans l'intérieur des collines et à 150 mètres au-dessus du niveau de la mer.

2° Selon M. Constant Prévost, il y aurait mélange dans le bassin de la Garonne entre les coquillages marins et les ossements d'animaux terrestres. Il est aisé de comprendre qu'au voisinage du contact ces deux sortes de dépouilles puissent former un pêle-mêle ; mais ce n'est là qu'un fait local sans conséquence. Partout ces dépouilles terrestres se trouvent dans des bancs distincts et superposés à ceux où se voient les dépouilles de la mer. C'est comme dans le bassin de la Seine où les bancs de calcaire à coquilles terrestres et d'eau douce se montrent superposés aux bancs de calcaire à coquilles marines. Quant aux ossements isolés et séparés du reste du squelette , et qui sont ordinairement plus ou moins usés par le frottement , ce n'est pas ceux qui ont été voiturés avec les dépouilles marines qui se montrent ainsi , mais bien ceux qui y sont arrivés avec les graviers et les sables. Ceux qui se trou-

vent dans les gisements de calcaire analogues à celui de Sansan , c'est-à-dire ceux qui gisent dans les marnes ou dans les calcaires, sont entiers , peu séparés du squelette ; mais, on le répète , ceux-là ne pouvant être extraits de la roche dure dans laquelle ils sont engagés , ne figurent point dans les collections , et M. Constant Prévost , en visitant ces collections , a dû être trompé à cet égard.

Je ne saurais terminer ces observations sans remarquer combien il est à regretter pour la science que des hommes du mérite et de l'autorité de M. Constant Prévost et de M. Dufrénoy n'aient pu parcourir en détail , dans ce pays classique , des terrains dits tertiaires , où tout se voit à découvert , où , l'horizontalité des couches n'ayant pas été détruite par les convulsions du globe qui les ont dérangées partout ailleurs , on peut les suivre avec la plus complète facilité d'une colline à l'autre , sans jamais les perdre de vue , et les voir former les cinq gradins de sable et calcaire qui composent les hautes collines de ces contrées. Si M. Constant Prévost , qui sait si bien voir, et est doué de tant de circonspection , de zèle et de bonne foi , eût exploré cet intéressant bassin, qui n'a encore été étudié que par M. Boué et par celui qui écrit ces lignes , il n'eût pas cherché à expliquer sa formation par son ingénieux système des affluents d'eau douce. Il aurait vu , comme tout le monde , que dans tous les vallons des grandes rivières et dans tous les vallons latéraux , les angles rentrants et les angles saillants se montrent toujours vis-à-vis l'un de l'autre , et attestent l'intervention d'un courant venant de la mer , et augmentant progressivement de niveau. Il eût vu que les graviers de la grande formation de transport , qui a tout recouvert , sont pareillement dus à une invasion de la mer ; car partout , dans la direction de ces courants , on trouve des amas de gravier , tandis que latéralement on ne trouve que des sables et des marnes. Ces graviers appartiennent évidemment aux roches des Pyrénées ; mais cela n'empêche pas qu'ils ne soient venus de la mer. Le fond de l'Océan , à l'embouchure de la Garonne et sur la côte de Gascogne , n'en contient pas d'autres ; et il ne faut pas s'imaginer que la Garonne les y ait apportés , car cette rivière , même dans ses plus fortes crues , ne voiture plus que de la vase pendant les 12 derniers myriamètres de son cours vers l'Océan.

M. Constant Prévost , présent à la séance , répond :

1^o *A la première observation de M. Chaubard* : qu'il n'a jamais pensé que les ossements fossiles du bassin de la Garonne

se trouvaient exclusivement à la surface du sol et dans les matières meubles ou peu consistantes ; il a dit, au contraire (*Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, 30 juin 1845) : *Tous ces animaux, dont les débris ne se rencontrent que très rarement et par hasard à la surface du sol, sont presque toujours enfouis dans et sous des couches solides de plusieurs mètres d'épaisseur, etc.*

Dans le *Bulletin de la Société géologique*, pag. 342, 345, séance du 2 mars 1846, il a donné avec détail la description, et, page 339, la coupe de la colline de Sansan, desquels il résulte évidemment que les ossements sont dans des couches solides, épaisses, profondes, dont plusieurs sont à plus de 150 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer.

2° *A la seconde observation* : que non seulement le mélange des animaux terrestres, d'eau douce et marins, est incontestable sur une grande étendue du bassin de la Garonne (les Landes, l'Armagnac, le Condomois), comme il est dit page 340 du *Bulletin*, mais qu'il est également certain que le centre et le pourtour de l'ancien golfe sous-pyrénéen (département du Gers, rives gauche et droite de la Garonne actuelle jusqu'auprès de l'embouchure du Lot), sont exclusivement occupés par des formations d'eau douce, tandis que des formations marines ou fluvio-marines remplissent la partie O. ouverte à la mer.

C'est cette disposition qui conduit naturellement M. Constant Prévost à faire à la géologie des terrains tertiaires de la Garonne l'application de la théorie des affluents que depuis longtemps il avait proposée pour expliquer une distribution analogue des formations et des fossiles dans les autres bassins, de la France notamment.

En effet, de même que dans l'ancien golfe de la Seine, les formations d'eau douce des terrains tertiaires occupent les parties à l'E. et au S. de Paris, les formations marines celles à l'O. et au N., et les formations fluvio-marines ou de mélange le centre ;

Que, dans la grande vallée de la Loire, les formations d'eau douce se voient depuis la Haute-Auvergne jusque dans l'Orléanais, et que, dans la Touraine et au-delà, commencent à se montrer les formations marines de rivage, puis pélagiennes.

De même aussi , dans le grand golfe sous-pyrénéen , tous les dépôts à l'E. et au N. d'Agen et d'Auch ne renferment que des fossiles terrestres ou d'eau douce , lorsqu'à l'O. de ces villes , les mêmes fossiles sont associés à des coquilles marines , qui deviennent de plus en plus abondantes à mesure que l'on approche des rivages actuels de l'Océan.

3^o *A la troisième observation de M. Chaubard* , M. Constant Prévost répond encore qu'il n'a pas vu dans le bassin de la Garonne (qu'il a cependant étudié autrement que dans les collections) des faits qui permettraient d'admettre l'existence constante des cinq gradins de sable et de calcaire que M. Chaubard croit avoir observés dans l'Agénais ; il lui paraît démontré que cet observateur zélé , mais peut-être trop préoccupé d'idées étrangères à la géologie , a imaginé une hypothèse incompatible avec les observations les moins contestables , en cherchant à retrouver ses gradins de l'Agénais dans le sol des environs de Paris , en assimilant , par exemple , les sables à grandes Huitres des rives gauches de la Garonne au grès de Fontainebleau , et le calcaire grossier de Paris à la craie de Caen , de la Saintonge et du Périgord , etc.

M. Constant Prévost comprend beaucoup mieux la formation des angles alternativement saillants et rentrants que l'on observe dans beaucoup de vallées , par l'action des eaux fluviales-courantes que par l'intervention de *courants venant de la mer et augmentant progressivement de niveau*.

Il trouve aussi plus simple et plus rationnel de faire descendre des montagnes environnantes les sédiments , les graviers , les cailloux roulés , ainsi que les ossements des animaux terrestres et d'eau douce qui ont en partie comblé le golfe sous-pyrénéen , que de les faire remonter par des irrutions marines qui auraient tout mêlé et tout confondu.

Cela ne veut pas dire que tous ces matériaux , qui constituent aujourd'hui le sol du bassin sous-pyrénéen , aient été apportés par la Garonne actuelle ; mais que l'on peut raisonnablement penser qu'ils ont été charriés par les divers et nombreux cours d'eau qui descendaient de la chaîne des Pyrénées et du grand plateau central de la France lorsque ce bassin était submergé ; ce sont les deltas de ces anciens fleuves , ravinés et découpés

au moment de la retraite des eaux qui forment les collines et les vallées que baignent et parcourent la Garonne, l'Adour et leurs affluents.

Quant aux réflexions générales et particulières que M. Chaubard croit de son devoir de faire, sur la manière d'observer des géologues voyageurs, et sur l'avantage qu'il y aurait à n'ajouter croyance qu'aux observateurs sédentaires, M. Constant Prévost laisse à ses confrères présents et à venir à en apprécier la valeur et la portée, et il les renvoie aux ouvrages généraux et particuliers publiés par M. Chaubard, tels que sa *Notice géologique sur les terrains du département de Lot-et-Garonne*, ses *Éléments de géologie*, et enfin son *Univers expliqué par la révélation*; il se permet seulement de signaler à cette occasion le danger auquel on s'expose en cherchant, avec la meilleure foi du monde, à soumettre les sciences d'observation à des opinions métaphysiques préconçues, et irrévocablement adoptées.

Séance du 4 janvier 1847.

PRÉSIDENTE DE M. DE VERNEUIL.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Le Président annonce ensuite une présentation.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Dr Ch. Flandin, *Traité des poisons*; in-8°, t. 1^{er}, 752 p., 1 pl. Paris, 1846.

De la part de M. R.-I. Murchison, *Address.*, etc. (Discours prononcé à la réunion de l'Assoc. britan. pour l'avancement de la science à Southampton, 10 septembre 1846); in-8°, 24 p. Londres, 1846.

De la part de M. L. Pilla, *Istoria del tremuoto* etc. (Histoire du tremblement de terre qui a dévasté les contrées de la côte de Toscane le 14 août 1846); in-8°, 226 p. Pise, 1846.

De la part de M. le Dr Alex.-V. Volborth, *Ueber die Rus-*

sischen Sphæroniten (Sur les Sphéronites de la Russie); in-8°, 38 p., 2 pl. Saint-Petersbourg, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1846, 2^e semestre, nos 25-26.

L'Institut; 1846, nos 677-678.

Commission hydrométrique de Lyon; mars, avril 1846; juillet, août 1846.

Observations météorologiques faites à Dijon, de mars à août 1846, et à *Lyon*, de mars à juillet 1846.

The Athenæum; 1846, nos 1000-1001.

The Mining journal; 1846, nos 592-593.

M. de Verneuil fait hommage à la Société, au nom des donateurs, des ouvrages suivants qu'il a rapportés de son voyage en Amérique :

De la part du gouverneur de l'État de New-York, *Natural history of New-York* (Histoire naturelle de New-York, avec cartes, planches, coupes, etc., coloriées); in-4°. Les onze volumes parus, savoir : *Zoologie*, par James E. Dekay, 5 vol.; — *Botanique*, par John Torrey, 1 vol.; — *Minéralogie*, par Lewis C. Beck, 1 vol.; — *Géologie* (1^{er} district), par W^m W. Mather, 1 vol.; — *Id.* (2^e district), par Ebenezer Emmons, 1 vol.; — *Id.* (3^e district), par Lardner Vanuxem, 1 vol.; — *Id.* (4^e district), par James Hall, 1 vol.

De la part du Sénat des États-Unis, 1^o *Report*, etc. (Rapport de l'expédition exploratrice aux Montagnes Rocheuses en 1842, et dans l'Orégon et la Californie septentrionale en 1843 et 1844), par le capit. J.-C. Fremont; in-8°, 693 p., avec pl. et cartes. Washington, 1845.

2^o *Report*, etc. (Rapport d'une exploration géologique d'une partie de l'Iowa, du Wisconsin et de l'Illinois, faite en conformité des instructions du secrétaire de la Trésorerie des États-Unis, dans l'automne de l'année 1839), par David Dale Owen; in-8°, 191 p., cartes et planches. Washington, 1844.

3^o *Magnetic. and meteorol. observations*, etc. (Observations magnétiques et météorologiques faites à Washington par ordonnance du secrétaire de la Marine, en date du 13 août 1838), par le lieutenant J.-M. Gilliss, in-8°, 648 p. Washington, 1845.

4^o *Astronomical observations*, etc. (Observations astronomiques faites à l'Observatoire de Washington par ordonnance du secrétaire de la Marine, en date du 13 août 1838), par le lieut. J.-M. Gilliss; in-8^o, 671 p. Washington, 1846.

De la part de M. Markoe, 1^o *First annual report*, etc. (Premier rapport annuel sur la description géologique de l'État d'Ohio), par W.-W. Mather; in-8^o, 134 p., 1 pl. Columbus, 1838.

2^o *Second annual report*, etc. (Second rapport annuel sur la description géologique de l'État d'Ohio), par W.-W. Mather; in-8^o, 286 p., 15 pl. Columbus, 1838.

3^o *Report*, etc. (Rapport de la commission des brevets d'invention pour l'année 1845); in-8^o, 1376 p. 24 février 1846.

De la part de M. Emmons, 1^o *American quarterly journal of agriculture and science*, by Dr E. Emmons and Dr A.-J. Prime; vol. I, II, III, et vol. IV, n^o 1.

2^o *The New-York*, etc. (Rapports géologiques et minéralogiques concernant l'État de New-York, pour l'année 1837), par Lewis C. Beck, W.-W. Mather, E. Emmons, T.-A. Conrad et L. Vanhuxem; in-8^o, 214 p. Albany, 1840.

3^o *Communications*, etc. (Communications du gouverneur de l'État de New-York, comprenant les rapports annuels sur la description géologique de cet État, 20 février 1838, 27 février 1839, 24 janvier 1840, 17 février 1841); 4 vol. in-8^o.....

4^o *The Taconic system* (Le système Taconique, basé sur des observations faites dans les États de New-York, de Massachusetts, du Maine, de Vermont et de Rhode-Island); in-4^o, 67 p., 6 pl. Albany, 1844.

De la part de M. Henry D. Rogers, *Address*, etc. (Discours prononcé à la cinquième réunion de l'Association des géologues et des naturalistes américains, à Washington, en mai 1844); in-8^o, 101 p. New-York et Londres, 1844.

De la part de M. C. T. Jackson, 1^o *Abstract*, etc. (Extr. des procès-verbaux de la sixième réunion annuelle de l'Association des géologues et des naturalistes américains, à New-Haven, avril 1845), in-8^o, 87 p. New-Haven, 1845.

2^o *Report*, etc. (Rapport de nomenclature scientifique fait

à l'Association des géologues et des naturalistes américains, à New-Haven, mai 1845); in-8°, 7 p. New-Haven, 1846.

3° *Report*, etc. (Rapport des deux administrateurs de la Compagnie pour l'exploitation du cuivre du Lac supérieur); in-8°, 19 p., 5 pl. Boston, 1845.

4° *On the Copper and*, etc. (Sur le cuivre et l'argent de Kewenau Point, Lac supérieur), (extr. de l'*American journal of science and arts*, vol. XLIX, n° 1); in-8°, 13 p.

De la part de M. Alget, *Notices*, etc. (Notes sur de nouveaux gîtes de minéraux rares, et sur l'identité d'espèces supposées distinctes (extr. de l'*American journal of sciences and arts*); in-8°, 13 p.....

De la part de M. W. E. Logan, 1° *Message de S. E. le Gouverneur-général, avec rapports sur une exploration géologique de la province du Canada, présenté à la Chambre le 27 janvier 1845*; in-8°, 156 p., 2 pl. Montréal, 1845.

2° *Exploration géologique du Canada. Rapport des progrès faits pendant l'année 1844*; in-8°, 119 p. Montréal, 1846.

De la part de M. Charles M. Wheatley, *Catalogue*, etc. (Catalogue des coquilles des États-Unis, avec leurs localités); in-8°, 35 p. New-York, 1845.

De la part de M. James Hall, *Notes explanatory*, etc. (Notes explicatives d'une coupe de Cleveland (Ohio) à la rivière du Mississipi, dans la direction du S.-O., avec des remarques sur l'identité des formations de l'Ouest avec celles de New-York); in-8°, 26 p., 1 pl.....

De la part de M. Augustus A. Gould, *Expedition shells*, etc. (Coquilles de l'expédition autour du monde ordonnée par les États-Unis, et commandée par le capit. Charles Wilkes, pendant les années 1838-1842); in-8°, 24 p. Boston, 1846.

De la part de la Société d'histoire naturelle de Boston, 1° *Boston journal of natural history*; in-8°, t. I, II, III, IV, 1834-1844, et vol. V, nos 1-2, 1845.

2° *Proceedings of the Boston Society of natural history*; in-8°, vol. I, 1841-1844.

De la part du Lyceum de New-York, *Annals of the Lyceum of natural history of New-York*; nos 5, 6, 7. Febr. and august 1846.

AVIS.

Messieurs les membres qui rédigent et adressent des Notes ou Mémoires destinés aux publications de la Société sont instamment priés :

1^o De ne point placer de dessins de coupes ou autres dans le texte, mais de les réunir dans un cadre du format des planches du *Bulletin* ou des *Mémoires*, suivant qu'ils penseront que leur travail pourra être inséré dans l'un ou l'autre de ces recueils ;

2^o De réduire les figures à une échelle convenable pour éviter toute réduction ultérieure de la part du graveur, et de tracer toujours cette échelle ;

3^o De choisir autant que possible des échelles métriques en nombre rond, telles que $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$, $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{10000}$, $\frac{1}{20000}$, $\frac{1}{50000}$, $\frac{1}{100000}$, etc. ;

4^o D'indiquer sur les cartes la direction des lignes suivant lesquelles les coupes ont été faites, et de placer le nord vrai en haut ; de marquer au moins un degré de longitude et de latitude ;

5^o De marquer par une flèche la direction des cours d'eau s'il y a trop peu d'affluents pour que la direction de ceux-ci l'indique suffisamment ;

6^o De placer sous les coupes une horizontale représentant le niveau de la mer, et, à l'extrémité, une échelle verticale pour les altitudes ; cette échelle devra être répétée pour chaque coupe, même si elle était semblable pour toutes. Il est préférable, quand cela est possible, d'avoir la même échelle pour les hauteurs et pour les longueurs ; et quand les hauteurs sont exagérées, on fait bien d'ajouter au-dessous de la coupe principale une seconde coupe, dans laquelle les hauteurs sont à la même échelle que les longueurs. Cette coupe ne montre plus que la topographie et le résumé de la géologie ;

7^o De colorier les cartes lorsqu'il y aura lieu, en prenant pour base la légende de la Carte géologique de France, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, et de s'y conformer toutes les fois qu'il n'y aura pas de motifs qui s'y opposeront, comme cela peut se présenter dans l'étude très détaillée d'un pays ; de disposer autant que possible les légendes dans un ordre analogue à celui de la légende de cette carte ;

8° D'ajouter toujours aux teintes des lettres et des signes en noir, qui seront reproduits par la gravure, et pourront, si on le juge à propos, suppléer seuls les teintes elles-mêmes, ou du moins permettre d'en réduire le nombre.

Dans le discours, comme dans les dessins, les mots Nord, Sud, Est, Ouest, etc., sont seulement marqués par leurs initiales en gros caractères, N., S., E., O., etc.

Les nominations des diverses Commissions pour l'année 1847, faites par le Conseil dans sa séance du 21 décembre 1846, sont adoptées successivement par la Société.

Ces Commissions sont composées de la manière suivante :

Commission de comptabilité, chargée de vérifier la gestion du Trésorier : MM. ROZET, ANGELOT et MICHELIN.

Commission des archives : MM. FAUVERGE, DELAFOSSE et de WEGMANN.

Commission du Bulletin : MM. Alcide d'ORBIGNY, HUGARD et THIRRIA.

Commission des Mémoires : MM. ANGELOT, DESHAYES et d'ARCHIAC.

On procède ensuite à l'élection du Président pour l'année 1847.

Deux bulletins venant de l'étranger, imprimés, mais non signés, sont admis comme valables par le bureau. Il y a 44 membres présents, 97 bulletins cachetés.

M. Dufrénoy, ayant obtenu 114 suffrages sur 138, est proclamé Président pour l'année 1847.

Avant de quitter le fauteuil, M. de Verneuil remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en le nommant son président, honneur qu'il a regardé comme le plus grand qu'il pût ambitionner. Il la remercie aussi de la bienveillance qu'elle lui a témoignée, et qui lui a facilité la direction des discussions. La reconnaissance qu'il en conservera toujours lui fera un devoir de contribuer de tout son pouvoir à la prospérité de la Société et à l'avancement de la science.

Il remercie aussi MM. les membres du Bureau du zèle et du talent avec lequel ils l'ont aidé dans sa tâche.

La Société nomme ensuite successivement :

Vice - Présidents, MM. DELAFOSSE , MICHELIN , d'OMALIUS d'HALLOY et GRAVES.

Archiviste , M. le marquis de ROYS.

Membres du Conseil, MM. de VERNEUIL , ROZET , DEVILLE , de WEGMANN et Constant PRÉVOST.

Il résulte de ces nominations que le Bureau et le Conseil se trouvent composés de la manière suivante pour l'année 1847 :

Président.

M. DUFRÉNOY.

Vice-présidents.

M. DELAFOSSE ,
M. MICHELIN ,

M. d'OMALIUS d'HALLOY ,
M. GRAVES.

Secrétaires.

M. LE BLANC ,
M. Ch. MARTINS.

Vice-secrétaires.

M. BAYLE ,
M. HUGARD.

Trésorier.

M. DAMOUR.

Archiviste.

M. le M^{rs} DE ROYS.

Membres du Conseil.

M. ANGELOT ,
M. le V^{ic} d'ARCHIAC DE ST.-SIMON ,
M. d'ORBIGNY (Alcide) ,
M. DESHAYES ,
M. DE PINTEVILLE ,
M. VIRLET D'Aoust (Th.) ,

M. ÉLIE DE BEAUMONT ,
M. ED. DE VERNEUIL ,
M. ROZET ,
M. DEVILLE ,
M. DE WEGMANN ,
M. Constant PRÉVOST.

Séance du 11 janvier 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite de la présentation faite dans la dernière séance, le Président proclame membre de la Société :

M. l'abbé FONTENAUD, professeur au petit séminaire, à Richemont (Charente), présenté par MM. Bauga et Ch. Martins.

Le Président annonce ensuite deux présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Ministre de la justice, *Journal des Savants*; décembre 1846.

De la part de M. Ch. Martins, *Voyage botanique le long des côtes septentrionales de la Norvège, depuis Drontheim jusqu'au cap Nord* (extr. des *Voyages en Scandinavie et au Spitzberg de la corvette la Recherche*); in-8°, 138 p. Paris...

De la part de M. le Dr E. Sismonda, *Descrizione*, etc. (Description des poissons et des crustacés fossiles du Piémont); in-4°, 88 p., 3 pl. Turin, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, n° 1.

L'Institut; 1847, n° 679.

Annales de l'Auvergne; septembre et octobre 1846.

The Athenæum; 1847, n° 1002.

The Mining journal; 1847, n° 594.

Bulletin de la Société impériale des naturalistes de Moscou; 1846, n° 111.

Nouveaux Mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou, t. VIII.

M. Dufrénoy remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait, honneur le plus grand qu'un géologue puisse obtenir. Il espère qu'il verra terminer, cette année, le travail si impor-

tant commencé par un géologue dont le nom seul est un éloge, et il sera heureux s'il peut y contribuer. Il remercie M. de Verneuil, président sortant, au nom de la Société.

Le Président donne lecture de la lettre de MM. les secrétaires-généraux du Congrès scientifique de France, annonçant que sa quinzième session aura lieu à Tours, et s'ouvrira le 1^{er} septembre 1847.

M. Martins lit les observations suivantes :

Dans la séance du 16 novembre 1846, la Société a entendu la lecture d'une note de M. Studer sur les coins calcaires intercalés dans les massifs gneissiques de la Jungfrau, du Wetterhorn et de la vallée d'Urbach, dans le canton de Berne. M. Rozet, d'après des observations qu'il a faites dans les Alpes du Dauphiné, a émis l'opinion que le massif de la Jungfrau n'était probablement pas formé de gneiss. Pour lever tous les doutes, s'il pouvait s'en élever à cet égard, M. Studer rappelle que tous les géologues qui ont visité les Alpes bernoises depuis de Saussure jusqu'à nos jours, sont unanimes à cet égard; mais pour qu'il n'en reste pas même dans l'esprit de M. Rozet, il envoie cinq échantillons.

Le premier est un gneiss à texture granitoïde pris dans le fond de la vallée de Lauterbrunn, près de Trachsellaunen, au pied de la Jungfrau.

Le second, plus pauvre en quartz, est pris près des chalets de Kufstein, c'est-à-dire *au-dessous* du premier coin calcaire que M. Studer a étudié, pour la seconde fois l'été dernier, avec MM. Brunner et Martins.

Le troisième échantillon est du gneiss, sans quartz apparent, pris *au-dessus* de ce même coin calcaire, près du glacier du Rothal. Ainsi, le coin calcaire de la Jungfrau qui est abordable dans le Rothal, est bien intercalé dans un massif gneissique, comme l'affirmait M. Studer.

Le quatrième échantillon provient du Sommet du Wetterhorn, qui est primitif, tandis que la partie moyenne de la montagne est calcaire. C'est un gneiss talqueux où domine le feldspath et où l'on remarque un peu de talc chloriteux.

Le cinquième est de la protogyne prise au glacier supérieur de Grindelwald, au-dessous du calcaire. Ainsi donc, au Wetterhorn comme à la Jungfrau, il y a intercalation d'une roche de sédi-

ment dans une masse cristallisée, et les faits décrits et figurés par MM. Arnold Escher (1) et Studer sont parfaitement exacts.

M. Rivière demande si une roche composée de feldspath et de mica est par cela un gneiss.

M. Martins répond que les géologues suisses, en considérant l'ensemble, ont été conduits à ranger ces roches dans les gneiss, malgré les différences que présentent leurs variétés.

M. Rozet dit qu'on fait un véritable abus du mot gneiss; qu'il peut arriver qu'on ait des gneiss minéralogiquement, sans qu'on doive cependant les ranger parmi les gneiss géologiquement.

M. Martins fait observer que M. Studer regarde le gneiss comme une roche éruptive intercalée dans les couches jurassiques avant leur soulèvement.

M. Rozet répond à M. Martins que les échantillons déposés sur le bureau peuvent aussi bien provenir de masses métamorphiques que de masses ignées proprement dites; que dans le terrain anthraxifère des Alpes dauphinoises, on trouve des roches absolument semblables, qui passent à des poudingues et à des schistes argileux; que ces roches offrent une telle analogie avec celle du Mont-Blanc, que la masse de la Jungfrau pourrait bien être de la même époque que celle de cette montagne, ce qui n'aurait rien d'extraordinaire; car le système *protogyneux* a pris un grand développement dans toute la chaîne des Alpes. M. Studer, ajoute-t-il, a grand tort de donner le nom de gneiss à une roche qu'il dit être éruptive: le gneiss n'est point du tout une roche éruptive; nulle part on ne le voit s'introduire en filons ou en veines dans les autres roches ni déborder sur elles à la manière des granites et des porphyres. Dans les Vosges, dans la Bourgogne, dans l'Auvergne, dans la Vendée, dans la Bretagne, etc., le gneiss forme un groupe indépendant parfaitement développé, le plus ancien de tous les groupes connus, inférieur à tous ceux qui renferment des traces de

(1) Erlaueterung der Ansichten einiger Contactverhaeltnisse zwischen kristallinischen Feldspathgesteinen und Kalkim Berner Oberlande (*Nouveaux Mémoires de la Société helvétique des Sciences naturelles*, t. III, p. 4. — 1839.)

restes organiques, percé par toutes les espèces de roches plutoniques, et dont les diverses variétés de la roche constituante, imparfaitement stratiformes, ne pénètrent jamais, soit dans les roches inférieures, soit dans les roches supérieures, avec lesquelles elles sont cependant souvent intimement liées. Il faut bien distinguer entre le véritable gneiss, roche dominante du groupe précédent, et les roches gneissiformes, qui sont des roches métamorphiques pouvant appartenir à plusieurs formations, et même à des formations très récentes.

M. Martins regarde l'assimilation du terrain anthraxifère du Dauphiné avec les gneiss de la Jungfrau et les protogynes du Mont-Blanc, comme complètement arbitraire. Les gneiss et la protogène de ces montagnes sont dépourvus de fossiles, tandis que le terrain dont parle M. Rozet est *caractérisé* par la présence des *végétaux* propres aux terrains houillers. Il doute de plus fortement que ce terrain renferme de vrais granites comme ceux de la base de la Jungfrau, et des protogynes comme celles des aiguilles du Mont-Blanc. M. Martins regarde comme également aventurée et dépourvue de preuves l'assimilation du Mont-Blanc à la Jungfrau, montagnes qui présentent tant de différences dans leurs éléments constituants. Une semblable proposition ne saurait être énoncée sans une étude préalable de ces groupes si compliqués. De Saussure, après trente ans de voyages, et les géologues qui lui ont succédé, se sont tenus, à cet égard, dans une sage et prudente réserve.

M. Boubée regrette qu'on ne s'entende pas, en géologie, sur les noms des roches; il voit dans les échantillons qu'a présentés M. Martins deux granites et trois protogynes.

M. Martins répond que lorsque l'on cherche une désignation générale, le mot gneiss est celui qui convient le mieux, à cause de la disposition en strates et de l'ensemble des caractères minéralogiques.

Au sujet de l'opinion de M. Studer, que M. Martins a rapportée, et par laquelle le professeur de Berne tend à admettre l'origine éruptive des gneiss, et pour répondre à une interpellation sur la nature géologique de certaines roches dont on présente quelques échantillons, M. Frapolli fait observer que le gisement de plusieurs roches gneissiques dans les Alpes, en

Bretagne, en Allemagne, dans la Scandinavie, lui a paru démontrer leur origine neptunienne et l'altération de leurs caractères minéralogiques primitifs due à des causes qui ont agi postérieurement à leur dépôt; mais qu'il croit absolument impossible de déterminer, d'après des échantillons pris dans un cabinet de minéralogie, si une roche donnée appartient à un système de couches complètement transformées, ou bien à cette partie des sédiments qui, par des circonstances particulières de position, a dû subir une métamorphose locale; si, en un mot, le métamorphisme a été *normal* ou *accidental*; que d'ailleurs, ainsi que l'a fait observer M. le docteur Girard de Berlin, et cela surtout dans le cas du métamorphisme normal, certaines parties des couches ont pris l'aspect de véritables roches granitiques: ce qui fait qu'une collection de roches métamorphiques ne peut être utile que lorsqu'elle accompagne un travail spécial et détaillé sur un pays, et qu'elle est plutôt propre à prouver la difficulté de déterminer les formations à l'aide de caractères autres que les caractères géologiques, qu'à servir de point de départ pour cette détermination. Le nom seul que les roches de ce genre ont reçu doit prouver l'impossibilité d'établir leur âge d'après leur aspect minéralogique.

M. Martins répond que nulle part dans le voisinage de la Jungfrau, qui a été étudiée par tant de géologues, et dont l'escarpement est de 4,000 mètres, on n'a trouvé de véritable roche éruptive à laquelle on pourrait attribuer le métamorphisme *par contact* de la roche gneissique qui constitue le massif de la montagne. Les roches éruptives incontestables les plus voisines sont les granites de Baveno, sur les bords du lac Majeur, en Italie. Les schistes de la Nufenen, qui renferment des grenats, des staurotites et des bélemnites, prouvent que le voisinage d'une roche métamorphisante n'est pas la condition nécessaire du métamorphisme.

Le Secrétaire donne lecture de la note suivante :

Note sur les variations de nature que présentent les roches pyrogènes, par M. J. Durocher.

Dans les traités et dans les cours de géologie, on décrit les roches pyrogènes comme formant des espèces bien distinctes qui se rat-

tachent à l'une des deux grandes classes des *roches plutoniques et volcaniques* ; cette classification , qui est vraie en général , n'a cependant pas une valeur absolue , et la nature nous offre de curieux exemples de métamorphoses des roches , de leur passage réciproque , de façon que la même masse minérale , considérée dans des parties très voisines , appartient tantôt à une espèce , tantôt à une autre , et doit souvent même être classée dans un cas comme roche plutonique et dans l'autre comme roche volcanique. Je vais citer des exemples que j'ai eu l'occasion d'observer.

Les diorites de la Bretagne se transforment dans la rade de Brest en une roche composée en majeure partie de feuillets de mica (le kersanton) ; dans les Côtes-du-Nord et la Loire-Inférieure , ils passent à une roche diallagique et serpentineuse ; ailleurs , en Bretagne , ils passent à la syénite. Les diorites ne sont pas toujours complètement dépourvus de quartz et quelquefois ils offrent même les caractères du porphyre quartzifère et du pétrosilex , comme je l'ai remarqué sur les bords de la Mayenne , entre Laval et Château-Gontier. L'ophite des Pyrénées , qui est aussi une roche amphibolique analogue au diorite , mais plus moderne que ne le sont en général les diorites , prend quelquefois , dans la partie orientale des Pyrénées , l'apparence d'une roche volcanique ; il en est de même de la lherzolite , qui offre de grandes variétés de nature et d'aspect , et qui se montre même , en certains endroits , sous forme d'une pierre-ponce blanchâtre , semblable à celle des volcans.

Dans la Scandinavie , on a bien des faits analogues ; le diorite y passe quelquefois à l'euphotide ; souvent il contient , ainsi que la serpentine , une forte proportion de fer oxydulé , et on le voit même se transformer en une masse de minéral magnétique. Le granite passe fréquemment à la syénite , et celle-ci se charge de grenats , de diallage et d'hypersthène , et forme alors des syénites diallagiques et hypersthéniques. En beaucoup d'endroits , en Norvège , on observe de semblables variations de nature , mais l'exemple de métamorphose le plus curieux nous est offert par une autre espèce de granite qui est plus moderne et qui forme une masse considérable dans la partie méridionale de la Norvège. Ce granite passe d'abord à une syénite à très grands éléments et forme alors cette superbe roche , célèbre par ses zircons et par l'énorme quantité de minéraux rares qui s'y trouvent ; elle est encore aujourd'hui le gîte le plus fécond de nouveaux minéraux (1). Ensuite

(1) Voici les principaux minéraux que l'on a trouvés dans la syénite

cette syénite passe au porphyre rhombique de M. de Buch , qui renferme de grandes lames d'orthose et des cristaux allongés , hémitropes , d'une espèce feldspathique appartenant au système cristallin de l'albite ; ce porphyre devient lui-même , sur la côte occidentale du golfe de Christiania , une roche augitique , criblée de superbes cristaux noirs de pyroxène , offrant l'apparence et la structure du basalte , à tel point qu'elle a été citée comme basalte par d'aussi habiles géologues que MM. de Buch et Nauman ; la ressemblance est telle que l'on trouve même du péridot dans ce porphyre augitique (environs de Skien). On en trouve aussi dans la syénite d'Elfdaten en Suède , qui paraît correspondre à la syénite zirconienne des environs de Christiania ; il est à noter que celle-ci renferme plusieurs minéraux qui ne se trouvent ailleurs que dans des roches volcaniques. Une même masse minérale offre donc dans les mêmes lieux quatre types fort différents , le granite , la syénite ou zircon , le porphyre feldspathique et le porphyre augitique ; et l'on a en Norvège le singulier spectacle d'une roche semblable au basalte , associée non aux terrains tertiaires ou secondaires , mais aux terrains de transition , contraste non moins frappant que celui d'une roche granitique associée , en Italie , aux terrains tertiaires.

Ces variations de nature ne sont pas aussi extraordinaires qu'elles le paraissent ; en effet , toutes les roches pyrogènes contiennent les mêmes éléments : de la silice , de l'alumine , des alcalis , de la chaux , de la magnésie et de l'oxyde de fer. Les roches granitiques sont les plus riches en silice et en alumine , les plus pauvres en chaux , en magnésie et en oxyde de fer. Dans un même granite , et surtout d'un granite à un autre , les proportions de ces éléments varient un peu , comme je l'ai fait voir dans un Mémoire précédent (1) ; tantôt il y a une plus grande richesse en silice , tantôt en alumine , ou en bases à un atome d'oxygène. Quand un granite perd son mica pour devenir amphibolique et passer à la syénite , c'est alors la proportion de chaux et de protoxyde de fer qui augmente , en même temps que la proportion d'alumine et d'alcali diminue. Les passages des roches amphiboliques aux roches

zirconienne : le zircon , le sphène , le fer titané , la thorite , la chaux fluatée , l'analcime , l'amphigène , la néphéline , l'éléolite , la mésotype , la stilbite , la sodalite , cancrinite , praséolite , mosandrite , esmarekite , wöhlérîte , polymignite , pyrochlore , glaucolite , leucophane et égyrène.

(1) *Comptes - rendus des séances de l'Académie des sciences* , séance du 28 avril 1845.

pyroxéniques, diallagiques et hypersthéniques, sont faciles à concevoir, du moins quant à ce qui concerne leur composition élémentaire, car il y a des différences peu considérables entre ces diverses roches : celles à base d'amphibole sont plus riches en silice et en alumine ; celles à base de pyroxène, en chaux et en oxyde de fer ; celles à base de diallage et d'hypersthène, en chaux et surtout en magnésie. Les roches amphiboliques étant celles où il y a le plus de silice, et souvent trop pour qu'elle soit combinée en totalité, forment pour ainsi dire la transition des roches où il y a beaucoup de silice à l'état libre, des granites aux roches pyroxéniques, diallagiques et hypersthéniques, où toute la silice se trouve combinée avec les bases et à un état plus voisin de la saturation.

Quant à l'exemple cité tout à l'heure, où une même masse se montre sous forme de granite, de syénite et de porphyre pyroxénique, il devient plus facile à concevoir, lorsqu'on sait que le granite en question, qui est postérieur au terrain silurien de la Norvège, et que la syénite zirconienne, à laquelle il passe très fréquemment et d'une manière insensible, sont caractérisés par la faible quantité de quartz qui s'y trouve à l'état libre, et par la prédominance du feldspath orthose en très grandes lames, qui forme plus des deux tiers et souvent plus des trois quarts de la masse. Par leur pauvreté en silice, ce granite et cette syénite tendent donc à se rapprocher des roches pyrogènes plus modernes, et l'on conçoit que dans certaines parties de la masse la chaux et l'oxyde de fer se soient trouvés en plus grande abondance, et aient saturé la silice de manière à produire des cristaux de pyroxène et à prendre les caractères d'une roche basaltique.

M. le Vice-secrétaire donne lecture d'une lettre de M. Aymard, et dont voici le résumé :

Résumé d'une lettre de M. Aymard sur les ossements humains fossiles des environs du Puy, et sur de nouvelles espèces de Mastodontes.

Dans une lettre, communiquée à la Société géologique dans sa séance du 19 janvier, M. Bravard conteste l'authenticité d'une découverte d'ossements humains fossiles, que M. Aymard avait précédemment annoncée à la Société (séance du 2 décembre 1844) : « Ces squelettes humains ont été fabriqués, dit M. Bravard, par

un adroit industriel qu'on a pris en flagrant délit de fabrication d'un troisième bloc. »

Étranger au pays où ces ossements ont été trouvés, il est possible que M. Bravard ait entendu dire que des imitations plus ou moins grossières de fossiles aient été fabriquées ; mais il n'en résulte pas que le premier bloc, celui du musée du Puy, ne soit pas authentique ; or, le facies de ce bloc et ses caractères excluent toute idée de falsification, comme l'ont reconnu MM. Lecoq et Croizet à la séance du 6 août de l'Académie de Clermont-Ferrand (1). Cet échantillon présente des assises régulières de cendres argiloïdes et de brèches volcaniques semblables à celles du gisement d'où il provient.

Seulement M. Croizet a supposé que ces ossements n'étaient pas contemporains de la brèche, et qu'ils pouvaient provenir d'une fente ou crevasse de rocher. Cette opinion ne peut être admise parce que les ossements proviennent d'une couche horizontale et régulière de cendres, recouvertes d'un puissant massif de brèches. « On a renouvelé les fouilles depuis la première découverte, afin de bien constater la régularité des strates ; l'une d'elles a produit un os métatarsien humain que je possède. »

Considérant ce fait comme acquis désormais à la science, M. Aymard entre dans quelques considérations sur l'époque probable de l'enfouissement de ces dépouilles humaines. La Denise est sans contredit l'un des volcans les moins anciens du Velay, comme l'attestent la fraîcheur et la netteté des arêtes des matières scorifiées qui en sont sorties, et comme l'établit encore bien mieux la considération suivante. En effet, les brèches argiloïdes à ossements humains, résultat d'éruptions boueuses à travers un puissant massif de brèches plus anciennes et d'alluvions (sables et cailloux roulés), sont descendues des parties supérieures jusqu'à une assez grande profondeur dans le vallon de la Borne, et là le cours d'eau n'a pas sensiblement abaissé ni élargi son lit depuis ces dernières éruptions ; tandis que les érosions dans les argiles, calcaires et basaltes, pendant la période pliocène, sont attestées par des lits de cailloux roulés sur les versants et les plateaux supérieurs.

Au N.-E. de la montagne, dans le bassin de Polignac, où les sables et cailloux roulés attestent la même origine, on retrouve les cendres argiloïdes et les brèches, descendues du sommet jusqu'au fond du vallon, et dans lesquelles l'auteur a reconnu les

(1) *Tablettes historiques d'Auvergne*, par M. Bouillet.

dépouilles de diverses espèces des genres éléphant, mastodonte? (1), rhinocéros, cheval, cerf et bœuf.

D'un autre côté, on trouve dans des sables, près de Polignac, des empreintes végétales, qui signalent une température semblable à celle des temps actuels; ce sont des feuilles d'ormeau, de frêne, de platane, de peuplier, de chêne, etc., dont les analogues vivent encore dans le pays; il en est de même pour les mollusques de ces terrains: *Clausilie parvule*, *Ancyle pluviatile*, *Cyclade* des fontaines et diverses Lymnés. « Non seulement les conditions climatiques sembleraient avoir été pareilles à celles dans lesquelles le bassin du Puy est placé aujourd'hui, mais aussi les températures devaient être réglées dans les mêmes rapports qu'elles le sont maintenant pour les différents points des régions centrales de la France. Ainsi, aux environs de Privas, M. Aymard a aussi récolté des végétaux (par exemple *Castanea vulgaris*) et des mollusques (*Cyclostoma elegans*), qui n'existent dans le Velay ni vivants, ni fossiles, tandis qu'ils caractérisent les flores et faunes vivantes et souterraines de l'Ardèche. »

C'est évidemment une confirmation des déductions de l'illustre Cuvier sur les climats des contrées habitées par les grands Pachydermes des terrains meubles qui « vivaient dans les lieux mêmes où ils ont été enterrés, sans que ces lieux aient éprouvé de grands changements dans leur température. »

Si de toutes ces considérations on ne peut rigoureusement conclure que l'apparition des sociétés humaines dans nos contrées, a précédé la disparition des espèces éteintes, on conviendra au moins que l'homme habitait le Velay lors des dernières éruptions volcaniques, à une époque rapprochée de celle où avaient vécu ces animaux, puisque leurs dépouilles se trouvent également dans les moins anciennes émissions volcaniques.

M. Aymard signale ensuite un Mastodonte surpassant de $\frac{1}{3}$ le *Mastodon maximus* de l'Ohio, d'après un quatrième métatarsien, long de 0,255, large en haut de 0,110, en bas de 0,145, et ayant 0,095 dans son moindre diamètre. Il propose pour cette espèce le nom de *Mastodon vellavus*.

Un métacarpien de l'annulaire long de 0,152, large de 0,072 en haut, 0,080 en bas, et 0,052 au milieu; deux arrières-mo-

(1) J'emploie le signe de doute par ce que les déterminations reposent sur des os du pied, qui ont de l'analogie avec ceux de l'Éléphant, et qu'on a nié le synchronisme de ces deux genres. (*Note de l'auteur.*)

lares à huit pointes, longues de 0,167 et larges de 0,096, à mamelons comme dans celui de l'Ohio, indiquent une autre espèce, probablement la même que M. Bravard a signalée, peut-être à tort, comme ayant aux deux mâchoires une arrière-molaire à dix pointes précédée d'une molaire à six pointes; car l'auteur pense que cette formule aurait été déduite d'une arrière-molaire inférieure entière, et seulement d'une portion de machelière supérieure.

Un troisième Mastodonte, plus petit de $\frac{1}{3}$ que le précédent, caractérisé par un métatarsien long de 0,095, large de 0,060 en haut, et 0,070 en bas, au milieu de 0,049, et par des molaires larges de 0,074, à collines comme dans celui de l'Ohio; il devra se nommer *Mastodon Vialetii*.

Dans la même localité de Vialette, et dans un terrain alluvio-volcanique, d'où proviennent ces Mastodontes, on trouve aussi le *M. angustidens*.

Enfin, on a trouvé près du Puy deux ou trois autres *Proboscidiens*, du genre Éléphant, caractérisés par des différences très notables de grandeur. L'une provient de Sainzelles, près Polignac, et se trouve avec des Hyènes, grands Tigres, Chiens, Hippopotames, Rhinocéros, Chevaux, Cerfs, Antilopes et Bœufs. C'est la première fois que les *Felis* et *Canis* ont été signalés dans les ossuaires du Velay; ils y sont accompagnés de beaucoup d'os rongés et lacérés.

M. Pomel dit qu'il a bien réellement été façonné un bloc renfermant des ossements humains, et qu'un troisième était même commencé lorsqu'on a surpris le contrefacteur en flagrant délit; que c'est le même industriel qui a vendu le premier bloc au musée du Puy; et, ce qu'il y a de plus concluant, une autre personne du Puy, marchand d'histoire naturelle, prétend en avoir suggéré l'idée et y avoir même travaillé. Je crois, dit-il, qu'au milieu de ces diverses circonstances, il est peu prudent de conclure sur un pareil fait. Cependant il en devra être autrement, si le métatarsien trouvé par M. Aymard était réellement en place et ne provenait pas des déblais antérieurs. Du reste, dans une communication faite en 1843 à la Société, il a signalé des faits qui semblaient devoir constater l'existence de l'homme aux dernières époques géologiques, mais non en même temps que les Mastodontes, comme le disait M. Aymard dans sa première communication.

Il ne pense pas que les végétaux fossiles signalés par M. Aymard puissent indiquer pour cette époque un climat semblable à celui de nos jours ; car le Platane est étranger à l'Europe occidentale , et les autres espèces s'étendent sur une grande longueur en latitude. Il a , au contraire , signalé des animaux qui attestent par leur présence un climat plus rigoureux qu'à l'époque actuelle.

Il termine en disant que les différences métriques , quelquefois suffisantes dans les petites espèces pour la distinction spécifique , ne peuvent nullement servir pour les grands animaux , dont les ossements augmentent en volume et en longueur même après que leurs épiphyses sont soudées à la diaphyse , et cette remarque doit plus spécialement encore s'appliquer aux os du carpe et du métacarpe , du tarse et du métatarse , et des phalanges. Il pense qu'il pourrait bien n'y avoir qu'une espèce dans les trois premières espèces de Mastodontes signalées par M. Aymard.

M. Frapolli présente les observations suivantes à propos de la *Notice sur le phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes*, par M. Desor (voy. p. 182 de ce volume).

Je me permettrai de prendre note de ce que vient de dire M. Desor sur le soulèvement lent de la Scandinavie , qui est en relation intime avec la production des stries et sillons que l'on observe dans ces pays. Ce phénomène , qui , dans le Danemarck , sur les côtes de Norvège et dans la partie méridionale de la Suède , n'a rien de commun ni avec l'existence bien avérée de courants géologiques , ni avec l'existence de glaciers très étendus , qu'on ne peut admettre qu'en faisant abstraction de tout ce que nous apprend l'étude de la croûte terrestre , est dû à des causes dont l'action se continue encore de nos jours , causes que des savants anglais et américains ont déjà indiquées , et que M. Forchhammer a , le premier , bien établies par un Mémoire qu'on peut lire dans la quatrième division des *Annales de Poggendorff*, pour 1843. Je n'entends pas nier par ces observations l'influence de masses énormes de boue , de sable et de galets balayant le sol avec une grande rapidité , et qui ont pu , je le conçois , exercer sur les roches une action polissante et même de burinage ; ce fait a pu avoir lieu , lui aussi , sur plusieurs points ; je ne sais si c'est à de pareils agents que l'on doit attribuer les stries que l'on rencontre dans des massifs de montagnes plus méridionaux , et que je n'ai pas étudiées

sous ce point de vue ; peut-être même existe-t-il des traces de leur action dans un seul et même pays à côté des phénomènes que je vais exposer. Je veux seulement appeler l'attention de la Société sur cette immense quantité de glaçons armés de blocs et de galets qui , poussés par les vagues et par les vents pendant les tempêtes habituelles de l'hiver et du printemps , viennent frapper les côtes, ou se traînent lourdement dans les canaux , sur les bas-fonds et les écueils qui sont près du niveau de la mer (1). Le mouvement imprimé à ces glaces flottantes doit polir les roches soumises à leur action et doit produire des stries, dont l'aspect et la disposition seront en rapport avec les lois générales du mouvement des eaux, avec l'action des vents dominants et avec le relief des côtes. M. Forchhammer a démontré qu'il en était ainsi pour le Danemark et la Suède méridionale ; de mon côté, et sans avoir connu le mémoire de M. Forchhammer, je suis arrivé aux mêmes résultats que lui par l'observation d'une partie du littoral de la Norvège et par celle des côtes et de l'intérieur du midi de la Suède. M. Weibye, jeune minéralogiste de Kragerô, a fait une carte qui présente, avec un grand détail, la topographie des parties qui avoisinent la mer dans le Bradsbergsamt et que j'aurai l'honneur de présenter à la Société ; cette carte sur laquelle, à l'appui d'une opinion qui n'est pas la nôtre, M. Weibye vient de tracer, avec la plus grande exactitude, les directions des stries et des sillons, prouve jusqu'à l'évidence cette loi générale :

Que les stries et les sillons des surfaces horizontales ou presque horizontales, ont une direction toujours perpendiculaire aux côtes générales dans les baies ouvertes, toujours parallèle à l'allure des canaux dans les fiords étroits. Que l'horizontalité, ou le plus ou moins d'inclinaison des stries sur les surfaces inclinées ou verticales, dépend du relief des côtes de la localité, et est toujours en rapport avec ce relief et avec l'action des différents vents.

(1) C'est un fait très connu que, pendant ces longs hivers du Nord, les côtes de la Scandinavie sont enveloppées d'une couche épaisse de glaces qui enclavent et entraînent avec elles, au dégel, les blocs et les galets de la plage ; ces blocs et ces galets formant comme une espèce de cuirasse au-dessous des glaces flottantes, sont transportés au loin. La seule portion des côtes de la Norvège qui subit directement les effets du gulf-stream est exempte en partie de ce phénomène. La formation des glaces se borne là à l'intérieur des fiords, et ce n'est que dans des saisons tout à fait exceptionnelles que la mer gèle ; mais la diminution dans le poids et le nombre des glaçons est remplacée là par la plus grande agitation des eaux et par les marées beaucoup plus considérables.

Les observations , quoique rapides, qu'il m'a été donné de faire dans l'intérieur des terres , m'ont fourni ce même résultat , savoir qu'on trouve la confirmation des lois indiquées , toutes les fois qu'on rapproche le phénomène de striage de l'élévation graduelle du sol dans cette partie du continent , élévation prouvée par les observations de plusieurs savants , et en premier lieu par les recherches de MM. Alexandre Brongniart, Keilhau et Forchhammer; toutes les fois qu'on met en rapport la direction et l'inclinaison des stries et des sillons avec la section horizontale du sol, à la hauteur de ces mêmes stries , ou , en d'autres mots , avec l'ensemble de la disposition des côtes au moment où ces stries étaient près du niveau de la mer. Or, la perpendicularité aux côtes générales des stries des surfaces supérieures , est le résultat de la loi bien connue du mouvement des vagues dans une mer ouverte ; tandis que le parallélisme que les stries , au fond des vallées , ont avec l'allure de ces dernières , est en relation avec l'effet de ce même mouvement qui produit des courants dans les canaux étroits qui séparent les récifs et dans les fiords qui se dirigent vers la côte , et avec l'action des vents qui poussent les glaçons dans une direction déterminée ici par le rivage des détroits. La répétition des faits qui viennent à l'appui de ces assertions est tellement fréquente , leur évidence est telle , que tous ceux à qui j'ai eu occasion de montrer ce phénomène sur le terrain , et qui jusqu'alors n'avaient songé qu'à la possibilité des actions des courants diluviens (car il faut le dire , presque personne , parmi les savants du Nord , n'a adopté l'hypothèse des glaciers universels) , que tous en ont été frappés , étonnés qu'ils étaient de n'avoir pas aperçu jusqu'alors une chose aussi simple et aussi claire. Parmi les personnes qui ont été ainsi amenées à changer subitement d'opinion , je ne ferai mention que des suivantes qui m'ont autorisé à les nommer, ce sont : M. Erdman, à qui l'on doit les grandes Cartes géologiques, encore inédites, de la Suède, et M. de Waltershausen, l'auteur de l'ouvrage gigantesque sur l'Etna, et promoteur et membre de la dernière expédition danoise d'Islande, avec lequel j'ai parcouru la côte occidentale de la Suède.

Ainsi , la disposition des stries et sillons dans le N. est en opposition directe avec toute idée qui puisse se rattacher aux théories glaciaires ou des courants. Leur production est un phénomène simple , naturel , dont la cause saute facilement , et avec la dernière évidence , aux yeux de quiconque , sans une idée arrêtée , se donne la peine de vérifier les lieux et de rapprocher ce fait des conditions générales du pays. C'est un phénomène du jour qui a

lieu tous les hivers et tous les printemps, qui a lieu par l'action des glaces combinées et des blocs qu'elles renferment, mais tout bonnement par l'action des glaces actuelles que les vagues mettent en mouvement, non par celle des glaciers imaginaires auxquels on prête des forces surnaturelles pour se traîner sur des surfaces horizontales. Mais de ce qu'il se forme des stries actuellement et de ce que nous n'avons des traces du soulèvement lent de la Suède que pour notre époque, il n'est pas nécessaire d'admettre qu'il ne s'est formé des stries que pendant cette période. Le soulèvement zonal lent et les abaissements qui s'ensuivent ne sont pas des phénomènes locaux, ni bornés à notre temps, c'est l'état normal pendant toutes les périodes de tranquillité; or, tout nous prouve que pendant les périodes où se sont déposés les derniers terrains meubles, les climats de ces contrées ont été aussi froids et même plus froids qu'aujourd'hui. Songeons donc à ces deux faits, et nous verrons que des stries à de grandes hauteurs, tout aussi bien que des stries au-dessous du niveau actuel des mers, peuvent exister sans que pour cela la théorie de M. Forchhammer en soit affaiblie le moins du monde; ces stries ne sont pas formées pendant l'époque actuelle.

Si l'action striante des courants géologiques sur les roches de certains pays est bien constatée, ce que je n'ai pas encore eu le loisir d'examiner par moi-même, il en résulterait de ce que je viens de dire, l'existence de stries de deux origines différentes, de *stries continentales* et de *stries littorales*. Quant à la production des stries par l'action des glaciers démesurés, elle est en désaccord, je dois le répéter, avec tout ce que j'ai jamais pu observer en géologie. Du reste, la discussion sur le phénomène de polissage et des cannelures qui n'est qu'une partie minime de cette science, ne pourra conduire à quelque résultat satisfaisant qu'autant qu'on les mettra en rapport avec les mouvements nécessaires et successifs de la croûte du globe, avec la dispersion des blocs erratiques qui y est étroitement liée et avec tout ce que nous enseigne l'étude des terrains meubles. Comment discuter si les dépôts diluviens sont des moraines ou des sédiments dus à l'inondation, lorsqu'on voit encore confondre généralement en un seul magma des dépôts souvent dénudés qui n'ont rien de commun entre eux, dont les uns sont marins, les autres terrestres, qui portent l'empreinte de causes violentes ou de sédiments tranquilles, qui diffèrent par leur âge, par leurs matériaux composants, par la direction de laquelle ils sont arrivés? Lorsqu'on voit encore confondre les blocs erratiques et le limon (lehm de l'Allemagne) avec le diluvium de galets

scandinaves et avec les dépôts meubles inférieurs et supérieurs?

C'est à regret que je me vois forcé de m'arrêter, tout détail ultérieur serait ici déplacé; on pourra mieux apprécier, j'espère, les faits et les arguments dans un travail d'ensemble qui résumera le fruit des explorations que j'ai poursuivies pendant près de deux années, sur les terrains meubles de l'Allemagne du nord et de la Scandinavie, travail appuyé sur des levées trigonométriques et sur lequel j'aurai prochainement à implorer l'indulgence de la Société.

M. Desor fait observer que la vague agit toujours perpendiculairement au rivage, tandis que dans le fiord de Christiania les stries sont longitudinales.

M. Frapolli prie M. Desor de se rappeler qu'il vient positivement de dire que les stries sont parallèles aux canaux. Du reste, il ne pense pas que personne veuille regarder le fiord de Christiania comme une mer ouverte.

M. Martins constate que la nouvelle théorie suppose implicitement :

1^o Que la Scandinavie a été immergée jusqu'à la hauteur de 1,400 mètres, car on a observé des roches polies et striées jusqu'à cette hauteur;

2^o Elle devra expliquer pourquoi cette mer, qui a formé un dépôt argileux coquillier jusqu'à la hauteur de 240 mètres, n'a laissé aucune trace de son séjour au-dessus de cette hauteur;

3^o Elle aura à démontrer que les stries formées par des glaces flottantes poussées sur les rivages sont semblables en tout point à celles qui sont gravées par les glaciers actuels; car il n'y a point de différence entre celles-ci et les stries des rivages et des montagnes de la Scandinavie;

4^o La nouvelle théorie présentera sans doute aussi une explication simple et facile de ce fait sans exception du Cap-Nord jusqu'à Christiania, savoir que dans tous les rochers du rivage, le côté arrondi, poli et strié, est tourné vers *l'intérieur* des terres, tandis que le côté escarpé, anguleux et *non strié*, regarde la mer. Ce serait, ce me semble, le contraire, si la nouvelle explication était la véritable.

5^o Aux rétrécissements des hautes vallées de la Suède et de la Norvège, les stries sont redressées *d'amont en aval*, comme

elles le sont dans les mêmes circonstances sur les bords des glaciers actuels. D'après la nouvelle hypothèse, ces stries devraient être inclinées précisément en sens contraire, puisque les glaçons auraient été poussés, dans les vallées, d'aval en amont. C'est encore une difficulté dont nous attendons la solution.

M. Martins fait enfin remarquer que cette explication est la troisième que proposent les partisans de l'action des eaux.

D'abord ils admettaient, avec M. Sefstroem, un seul courant, dont M. Durocher faisait remonter la source jusqu'au Spitzberg. Puis, renonçant à un courant unique, M. Durocher en a supposé plusieurs divergeant à partir de la chaîne Scandinave.

Voici enfin une troisième théorie. L'eau est toujours l'agent principal, mais ce ne sont plus des courants, c'est la mer qui arrondi et strié tous les rochers.

Après avoir épuisé toutes les combinaisons dans lesquelles les phénomènes erratiques sont attribués à l'action de l'eau, on reconnaîtra probablement que la supposition d'une ancienne extension des glaciers rend compte des phénomènes erratiques de la Scandinavie d'une manière aussi satisfaisante qu'elle explique ceux des Alpes, des Pyrénées, des Vosges et des montagnes de l'Écosse.

M. Frapolli répond que les dépôts à fossiles n'appartiennent qu'à l'époque actuelle, tandis qu'il s'est fait des stries pendant le cours de plus d'une des dernières époques.

M. Rozet fait observer que ce qu'a dit M. Desor s'accorde avec l'explication qu'il a donnée dans les séances de la Société à Avallon.

M. Grange, revenant sur la communication de M. Desor, fait observer que dans un grand nombre de cas les glaciers descendent dans la mer; il rappelle qu'il a fait voir (*Bulletin de la Société*, 2^e série, t. III, p. 280) que les plus grandes accumulations de glaces avaient lieu dans les endroits où la température oscille autour de zéro.

M. Martins croit qu'effectivement les glaciers peuvent descendre au-dessous de la mer; mais ce ne serait qu'à la condition que la température de la mer fût constamment au-dessous de zéro.

Séance du 18 janvier 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

Axel ERDMAN, membre de l'Académie des sciences de Stockholm, à Stockholm (Suède), présenté par MM. Frapolli et Angelot;

Th. SCHEERER, professeur de métallurgie, à Christiania (Norvège), présenté par MM. Frapolli et Angelot.

M. le Président annonce ensuite deux présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. L. de Koninck, *Notice sur deux espèces de Brachiopodes du terrain paléozoïque de la Chine* (extrait des *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, t. XIII, n° 12); in-8°, 11 pages, 1 pl. Bruxelles.....

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, n° 2.

L'Institut, 1847, n° 680.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, n° 95.

Société royale académ. de Saint-Quentin. — Ann. scientifiques, etc., du département de l'Aisne; 2^e série, t. III. — 1845.

The Athencæum, 1847, n° 1003.

The Mining Journal, 1847, n° 595.

Par suite de la correspondance M. de Wegmann lit la note suivante de M. Boué :

M. de Hauer fils a publié un nouveau Mémoire sur les Céphalopodes du marbre coquillier opalisé ou chatoyant de Bleiberg en Carinthie (*Naturwissenschaftliche Abhandlung*, de la Société des

amis de l'hist. nat. de Vienne, 10 p., 1 pl.). Wulfen l'avait décrit jadis. Il y décrit les *Ammonites floridus*, Wulf., *A. Joannis Austriæ*, *A. Jarbes* Munst., *Nautilus Sauperi*, nov. sp. et des Orthocères de la division des *annulati* de Koninck, et figure ces fossiles.

Il retrouve ces couches dans bon nombre de localités des Alpes de Carinthie, du Tyrol méridional et septentrional, et de l'Autriche. Elles pourront servir d'horizon.

Il distingue trois étages de Céphalopodes avec Orthocères et Bélemnites dans ces Alpes, et chacun caractérisé par ses fossiles, savoir : celui de Bleiberg, Raibl, Mont-Ovir et Wochein (Carinthie), Saint-Cassian en partie, Hallstadt, Hallein, Aussée, Hall, Lavatsch (Tyrol), Spital am Pyrhon, Neuberg (Autriche), Hörnstein près Vienne.

Le second à Adneth et Wiess près de Hallein, Saint-Veit, près de Baden (Vienne), Turetzka et Herrengrund, près de Neusohl (Hongrie). Aucune de ces espèces ne se revoit dans le premier étage (?). Il y a aussi des Polypiers et des *Aptychus*.

Le troisième étage : Rossfeld, près de Hallein; étage encore très peu connu et difficile à étudier, à cause de la mauvaise conservation des fossiles dans des roches marno-arénacées (voy. mes Mém. paléont. et géol., p. 190, Ammonites, Hamites, Bélemnites et *Aptychus*; le Mém. de Schahmitl sur le même sujet, dans les Alpes de Bavière; *N. Jahrb. f. Min.*, 1846, cah. 6, carte. Voy. ce que j'en ai dit, *Bullet.*, 1^{re} série, 1841, vol. XIII, p. 88, 91, 131, 133; et *Mémoires*, 1^{re} série, vol. II, part. 1, p. 48). Nous ne doutons pas que ces dépôts de Céphalopodes ne soient jurassiques et même assez supérieurs; le muschelkalk et le trias sont au-dessous à Saint-Cassian, comme, en général, dans le Tyrol méridional.

M. Desor lit l'extrait suivant d'une lettre de M. Ch. Desmoulins.

Dans mes étiquettes j'emploie souvent, pour les Échinites sili-
ceux, l'indication *silex de la craie de Maëstricht*. Ce sont des blocs
anguleux ou des rognons *non roulés*, que nous trouvons ici, *sur*
les hauteurs, soit dans la mollasse, soit à la surface des coteaux,
quand la mollasse est délayée et disparue. Ces silex sont éminem-
ment caractérisés par le *Spatangus Bucklandii* (ou du moins ce que
j'appelle ainsi), et l'*ECHINOLAMPAS FAUJASII*, si bien figuré par
Faujas, et qui n'était connu *qu'à Maëstricht*. Jamais on ne les

trouve dans notre craie; il faut donc que ces silex proviennent d'une couche de craie *supérieure et détruite*: ils ne viennent pas de loin, puisqu'ils ne sont *jamais roulés*. Nous avons donc eu ici une couche de craie analogue à celle de Maëstricht (supérieure au premier étage décrit par M. d'Archiac), et qui, *fondue*, nous a laissé ses *noyaux*. Cette idée, qui était confuse et timide dans ma cervelle de *géologue d'occasion*, y a été éclairée, confirmée et *rivée* solidement par mon savant ami M. de Collegno, *au vu des lieux et des choses*.

M. d'Archiac répond que les fossiles peuvent appartenir à une couche supérieure de la craie tufau des environs de Périgueux (2^e étage du S.-O.), qui aurait été en partie détruite lorsque les premiers dépôts tertiaires se sont formés. L'état siliceux de ces fossiles, semblables d'ailleurs à ceux qui dans d'autres localités occupent cette position ou la base du 1^{er} étage, viendrait à l'appui de cette opinion. Quelles que soient d'ailleurs l'analogie ou même l'identité de quelques unes de ces espèces avec celles de la craie supérieure de Maëstricht, il ne peut y avoir aucune incertitude sur la position des couches qui les ont renfermées; et, quant à leur relation avec les étages crétacés du N., M. d'Archiac s'en réfère à ce qu'il a dit à cet égard dans la *seconde partie de ses Études sur la formation crétacée*. (*Mém. de la Soc. géol.*, 2^e série, vol. II, p. 136. — 1846.)

M. Delanoue présente à son tour les observations suivantes :

Il est bien à regretter que MM. Desmoulins et de Collegno n'aient fait suivre d'aucuns détails l'annonce si extraordinaire de la craie de Maëstricht dans le S.-O. de la France; un fait aussi nouveau valait bien la peine d'être étayé de quelques preuves. Ces deux savants n'ont pas dû adopter à la légère une idée de cette importance, et puisqu'elle est maintenant solidement rivée dans leur esprit, au vu des lieux et des choses, ils ont sans doute recueilli sur ce sujet une série d'observations qu'ils devraient bien nous faire connaître s'ils désirent que nous partagions leur conviction.

Au commencement de la période crétacée, le canal peu profond qui avait jusqu'alors réuni les deux mers du S.-O. et du N. de la France se trouvait entièrement comblé par les dépôts du lias et de l'oolite. Les deux mers furent alors complètement séparées, et

leurs faunes devinrent si différentes, que nulle part peut-être on ne pourrait citer des formations contemporaines aussi voisines et aussi dissemblables. Les terrains tertiaires eux-mêmes de Paris et de Bordeaux sont peut-être moins disparates que les terrains de craie qu'ils recouvrent. Celui qui ne connaît que la craie du bassin de Paris ne peut point la reconnaître aux environs de Bordeaux dans ces calcaires pétris d'*Exogyra auricularis*, Caprines, Ichthyosarcolites, Hippurites et Sphérulites.

M. d'Archiac, qui a fait si consciencieusement l'étude comparée de ces deux régions crétacées, pourrait peut-être mieux que personne éclairer cette question. Il a établi dans la craie du S.-O. quatre grandes divisions; elles sont tout à fait naturelles: ce sont les mêmes que celles que j'avais sommairement indiquées en 1837 (1), et je dois dire ici combien je suis heureux que mes aperçus aient obtenu la sanction d'un géologue aussi éclairé. Mais M. d'Archiac lui-même a cru devoir mettre beaucoup de réserve dans le synchronisme qu'il a cherché à établir entre les divers étages des deux bassins.

Avant de classer comme craie de Maëstricht cette couche supérieure que M. Ch. Desmoulins dit être aujourd'hui détruite, ne serait-il pas tout à la fois et plus essentiel et plus simple de commencer par le classement des quatre grands étages aujourd'hui existant dans la craie du S.-O.? Je vais en résumer ici quelques caractères principaux: on verra combien ils diffèrent de ceux de la craie du N.

1° Immédiatement au-dessus de l'oolite, calcaire grenu, arénifère, verdâtre (ou jaunâtre par l'altération), pétri de miliolites (*Alveolina cretacea*, d'Arch.), et caractérisé par des Caprines (*C. adversa*, d'Orb.), *Pterodonta elongata*, d'Orb.; une seule Sphérulite (*Sph. foliacea*, d'Orb.), et surtout par l'*Ichthyosarcolites triangularis*, espèce unique.

Au-dessus, marnes et sables avec *Ostrea flabellata*, Gold.; *O. biauriculata*, Lmk; *Exogyra colomba*, et une seule Hippurite fort allongée, espèce inédite.

2° Calcaire feuilleté, blanc, sans fossiles; au-dessus Trigonie (*T. scabra*); plus haut, une prodigieuse quantité de Rudistes, constituant à elles seules une roche tantôt très dure et tantôt très tendre; *Hippurites organisans*, Montf., *H. cornu pastoris*, Desm.,

(1) Voyez Notice géognostique sur les environs de Nontron, Bulletin, 2^e série, t. VIII, p. 98.

radiolites, *lumbricalis*, d'Orb.; et dans les dernières couches, des Sphérulites (*Sph. Ponsiana*, d'Arch.).

La roche calcaire est quelquefois remplacée par un silex blond, blanc ou rouge, qui contient les mêmes fossiles et fournit, par cela même, d'excellentes meules.

3° Calcaire glauconieux, espèce de craie tufau, avec rognons de silex pyromaque, souvent pétri de fossiles, surtout d'*Exogyra auricularis* (Al. Brong., ou *E. lituola*, d'après M. Deshayes); *Ostrea vesicularis*, *carinata*, *diluviana*; *Terebratula alata*; *Pecten quinque-costatus* (Lmk); *Ammonites d'Orbignyanus* (d'Arch.); *Nautilus Fleuriausianus* (d'Orb.); *Lima maxima* (d'Arch.); *Modiola Dufrenoyi*, *Cucullæa tumida* (d'Arch.); *C. Beaumonti* (d'Arch.); *Cardium productum* (Sedg. et Murch.); *Polypothecia dicotoma* (miss Bennett); *Spatangus coranginum* (Lmk); enfin quelques rares Sphérulites, Hippurites et dents de Lamna.

4° Calcaires grenus, blancs et jaunâtres, où réapparaissent plus abondantes les Sphérulites et les Hippurites, qui avaient à peu près disparu de l'étage précédent; ce sont des espèces différentes, toutes découvertes et décrites avec soin par M. Ch. Desmoulins: *Spherulites crateriformis*, *Hæninghausi*, *dilata*, etc.; *Hippurites radiosa*, etc. On remarque parmi les autres fossiles *Syphosoma magnificum* (Agassiz); *Ostrea vesicularis*, var. A (Lmk); *Globiconcha Marrotinâ*, *Clypeaster Leskii* (Gold.).

Le silex y remplace souvent le calcaire; il n'est plus en rognons, mais en veines et bancs puissants de toutes couleurs, sous forme de bois et fossiles divers.

Et nulle part encore on n'a cité dans ces quatre étages de Scaphites et de Bélemnites. Que les paléontologistes se mettent donc à l'œuvre; qu'ils étudient mieux qu'on ne l'a fait la craie du midi et ses nombreux fossiles: c'est un beau champ d'étude, et la question est d'une haute importance; car la nombreuse famille des Rudistes, qui à elle seule caractérise si bien cette époque, se retrouve en Italie, en Turquie, en Grèce et jusque dans l'Asie, où elle offrira de précieux points de repère dès qu'elle sera mieux connue.

M. Michelin fait observer que dans la craie de Royans il y a des Polypiers qui se retrouvent à Maëstricht.

M. d'Archiac répond que ces fossiles correspondent à la partie supérieure de la craie tufau.

M. Viquesnel met sous les yeux de la Société un échantillon

du calcaire de Gouzinié (Haute-Albanie) qu'il vient de retrouver dans ses tiroirs et qu'il avait cherché vainement à l'époque où il rédigea son premier Mémoire sur la Turquie d'Europe. La surface de cette roche, rongée par les agents atmosphériques, présente, d'après M. Michelin, la structure du *Verticellites cretaceus*, DeFrance, qui ne s'est rencontré jusqu'à présent que dans la craie tout à fait supérieure du Cotentin. Ce fossile se trouve associé, en Turquie, avec des Hippurites, des Sphérulites, etc. (1), dans des couches que MM. Boué et Viquesnel ont cru devoir rapporter à l'étage moyen de la formation crétacée. M. Viquesnel rappelle qu'il a formulé son opinion de la manière suivante : *Les fossiles que nous avons rencontrés sont trop peu nombreux pour nous permettre de subdiviser le terrain crétacé en plusieurs étages. Nous croyons seulement pouvoir affirmer que la craie blanche n'existe pas dans ces contrées, à moins qu'elle ne soit représentée, en Albanie, par les pitons dolomitiques de Schkrel, de Boga, de Schalia, des monts Proklétia, etc.* (2). Les couches fossilifères de Gouzinié, ajoute M. Viquesnel, reposent sur le talcschiste et se lient à cette dernière roche par des lits plusieurs fois répétés de talcschiste et de calcaire; elles supportent et alternent, au col de Schalia, avec des calcaires magnésiens renfermant les mêmes fossiles. La dolomie compacte finit par dominer; ses couches puissantes, n'offrant aucune trace de restes organiques, sont recouvertes par un banc très épais d'une belle dolomie blanche, grenue et quelquefois cellulaire, qui constitue les pitons de la chaîne. M. Viquesnel termine par la citation suivante : *La position de la dolomie dans cette localité nous paraît mériter l'attention des géologues. Si l'on veut, d'après les idées modernes, attribuer à une modification la texture et les caractères minéralogiques de cette roche, il faut admettre que la transformation du calcaire en dolomie s'opère de bas en haut, présente des intermittences, se développe en montant, et acquiert toute son intensité dans*

(1) Voir les *Mémoires de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. V, p. 109.

(2) Voir le Mémoire précité, page 115.

les pitons de la chaîne. Ne serait-il pas plus naturel de regarder la dolomie des montagnes albanaises comme le produit d'un dépôt neptunien (1) ?

M. Deville lit la note suivante :

*Note sur le gisement du soufre à la soufrière de la Guadeloupe ,
par M. Ch. Deville.*

La soufrière de la Guadeloupe est un cône volcanique distant de la ville de la Basse-Terre d'environ 9,000 mètres. Elle est élevée, d'après la moyenne de plusieurs mesures barométriques, de 1,484 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de 331 au-dessus du plateau qui le supporte.

L'inclinaison en est très grande, et l'on ne peut guère l'évaluer à moins de 40 degrés. En plusieurs points le cône est complètement inabordable, et sur une foule d'autres on ne peut le gravir qu'à l'aide d'échelons taillés dans la roche. Il est entouré de toutes parts, excepté vers le S., d'une ceinture de montagnes d'une grande régularité, dont les sommets sont sensiblement inférieurs au sien, et composées d'une roche entièrement différente. Cette disposition circulaire est fort remarquable et constitue autour du cône central un véritable cratère de soulèvement.

Le massif de la montagne est composé d'une roche solide; ce n'est proprement qu'un dôme trachytique creusé à son sommet. Il en résulte une dépression centrale peu profonde et à laquelle on a donné le nom de *Petite Plaine*. Le sol en est recouvert d'un grand nombre d'assises peu épaisses, de produits cinériformes ou fragmentaires. Cette dépression est dominée très irrégulièrement par de petites crêtes rocheuses, dont quelques unes sont formées comme par des écailles recourbées.

Le soufre provient uniquement des fumerolles nombreuses qui s'échappent du flanc et du sommet de la montagne. Le fait principal est la présence d'une grande déchirure qu'on nomme la *Grande-Fente*, qui traverse presque exactement du N. au S. le massif de la montagne, et sur l'étendue de laquelle se manifestent les vapeurs sulfureuses. A l'extrémité septentrionale de la *Grande-Fente* on trouve une caverne assez profonde, où l'on pénétrait autrefois fort loin; mais des éboulements qui ont commencé depuis plusieurs années, et qui se poursuivent encore au-

(1) Voir le même Mémoire, page 411.

jourd'hui, l'ont presque entièrement obstruée. Sur les parois de la caverne ruissellent des eaux chargées d'alun, et du gypse y cristallise. Exactement au-dessus de cette caverne, la Grande-Fente se termine par deux murs verticaux, entre lesquels les vapeurs sortent constamment en très grande abondance et sans pression, sans sifflement. Les parois en sont tapissées de soufre.

Il n'en est pas de même aux autres orifices d'où s'échappent, avec un sifflement très aigu, les vapeurs sulfureuses, et auxquels on donne, fort improprement, dans le pays, le nom de *volcans*. Parmi les principaux on peut citer au sommet du plateau et dans la direction de la fente, les fumerolles dites Napoléon, d'où s'échappait, lors de mon séjour aux Antilles, la plus grande masse de vapeurs; tout autour de l'orifice, le sol est miné de manière à rendre les abords assez dangereux. A l'extrémité S. de la Grande-Fente, et sur le flanc du cône, s'est déclaré, en décembre 1836, après une éruption de cendres, un nouvel orifice, d'abord très actif, mais dont la violence a considérablement diminué sans cesser entièrement, lorsqu'en février 1837 une nouvelle éruption a donné naissance, vers le N.-O. du cône, à des fumerolles très abondantes. Celles-ci perdent à leur tour de leur intensité à mesure que celles du centre en acquièrent.

Il semble donc assez probable qu'au moins en temps de repos la quantité de vapeur sulfureuse rejetée par le volcan est à peu près constante; que les petites éruptions en augmentent momentanément l'intensité et déplacent les centres d'activité. On distingue facilement plusieurs places qui ont été évidemment des orifices de fumerolles et qui n'en laissent plus échapper: on peut citer entre autres le point où se fit l'éruption de 1797, qui est la première bien constatée depuis l'arrivée des Européens.

En ces divers points la roche est profondément altérée et offre tous les passages entre un trachyte solide et cristallin et une argile complètement décolorée. On y observe aussi à la surface des roches voisines des dépôts siliceux complètement analogues à ceux des geysers, et qui proviennent d'une cause semblable.

La température de ces fumerolles, prise un grand nombre de fois en des points divers et dans des circonstances très variées, a été constamment de 95 à 96 degrés. J'avais trouvé celle de Ténériffe, à 3,700 mètres de hauteur, d'environ 84 degrés. Les fontaines bouillantes de la Guadeloupe, au niveau de la mer, sont des jets de vapeur à 100 degrés. En rapprochant ces faits, il semble qu'il existe une relation entre la température de ces vapeurs et la hauteur absolue à laquelle elle trouve une issue.

Au reste, la vapeur d'eau forme, comme partout, la partie essentielle de ces émissions gazeuses. Aux abords des fumerolles, l'odeur dominante est celle de l'acide sulfureux; mais on ne peut douter qu'il ne se dégage aussi de l'hydrogène sulfuré, car j'ai souvent observé qu'à une certaine distance du volcan le vent apportait parfois des bouffées de ce dernier gaz.

Dans les éruptions, il se dégage aussi de ces gaz acides en quantité notable. En 1836, à plusieurs milliers de mètres autour du volcan, on ne pouvait sortir sans éprouver aux yeux un vif picotement, et les végétaux perdirent leurs feuilles à une grande distance.

Le soufre ne se trouve en abondance qu'autour des orifices des fumerolles; mais là, il se trouve en très grande pureté, et généralement cristallisé en petits octaèdres, dont les pointements très aigus se recouvrent en gradins. Ces petits cristaux ont un aspect poreux assez singulier; et le soufre n'a pas dans sa cassure la translucidité de celui de Sicile. La pesanteur spécifique en est cependant sensiblement la même et probablement aussi l'état moléculaire.

Hors des orifices des fumerolles, le soufre ne se trouve sur la montagne qu'en quantité à peu près insignifiante. Les cendres de 1836, analysées par M. Dufrénoy, en contenaient à peine. Sur les flancs de la montagne, quelques végétaux, à tissus peu résistants, ont été décomposés et la matière organique détruite remplacée par du soufre qui en conserve très bien l'empreinte.

A propos de cette communication, M. Boubée annonce qu'il a reçu de la Nouvelle-Grenade un oiseau converti en soufre, avec son intérieur tapissé de cristaux.

Séance du 1^{er} février 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

Le comte KEGLEVICZ DE BUZIN, conseiller de S. M. l'Empereur

d'Autriche, présenté par MM. Cordier et Alexandre Rouault;
 Étienne DE CANSON, à Annonay (Ardèche), présenté par
 MM. Ch. Martins et Cercelet;

Paul WEIBYE, minéralogiste, à Krageroe (Norvège), présenté
 par MM. Frapolli et Angelot.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. Hardouin Michelin, *Iconographie zoophytologique*; 24^e livraison.

De la part de M. Édouard Collomb, *Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges. — Du terrain erratique de cette contrée*; in-8°, 246 p., 4 pl. Paris, 1847.

De la part de madame veuve Henri de Villers, *De l'influence de la France en Europe*; œuvres posthumes de M. Henri de Villers; in-8°, 438 p. Paris, 1846.

De la part de MM. Th. Austin et Thomas Austin junior, *A monography*, etc. (Monographie des Crinoïdes récents ou fossiles); in-4°, p. 65—80 et ix—x, 2 pl. Londres.....

De la part de M. le professeur D. T. Ansted, *Facts*, etc. (Faits et déductions concernant la géologie économique de l'Inde); in-8°, 23 p. Londres, 1846.

De la part de M. David Dale Owen, *Report*, etc. (Relation d'une expédition géologique dans une partie de l'Iowa, le Wisconsin et l'Illinois (États-Unis) pendant l'automne de l'année 1839); in-8°, 191 p., 24 pl....., juin 1844.

De la part de M. Louis Frapolli, *Lagerung*, etc. (Gisement des couches secondaires dans le N. du Harz, avec quelques considérations sur la formation de la croûte terrestre et l'origine des gypses, des dolomies et des sels gemmes) (extrait des *Annales de Poggendorff*, B^d LXIX); in-8°, 25 p. Berlin, 1846.

De la part de M. Alb. Mousson, *Bemerkungen*, etc. (Observations sur les rapports naturels des Thermes d'Aix en Savoie); in-4°, 48 p., 3 pl. Neuenburg, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, nos 3—4.

L'Institut, 1847, nos 681—682.

Recueil des travaux de la Société libre d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres du département de l'Eure; 2^e série, t. IV. — 1843.

Transactions of geological Society of London; vol. III, 3^e partie. 1846.

The Athenæum, 1847, nos 1004—1005.

The Mining Journal, 1847, nos 596—597.

Oversigt, etc. (Comptes-rendus des travaux de l'Académie royale des sciences de Danemark, par H. C. Oersted); 1844, nos 1—8; 1845, nos 1—8; in-8^o.

Collectanea meteorologica, etc. (Recueil d'observations météorologiques faites en Guinée dans les années 1829—1834 et 1838—1842); par MM. J. J. Trentepohl, R. Chenon, F. Sannom; in-4^o, 136 p. Hauniæ, 1845.

M. Élie de Beaumont communique la note suivante :

Recherches à faire sur la variation du niveau relatif de la terre et de la mer (questions adressées par M. Chambers).

Un géologue, qui a entrepris cette investigation en Écosse, désire obtenir quelques informations sur ce sujet de personnes résidant en Angleterre, en Irlande ou sur le continent, dans le but d'arriver à des résultats de la plus grande généralité possible. Il présente les *memoranda* qui suivent relativement aux particularités qui lui seraient utiles.

Dans un très vaste district de l'Écosse, qui embrasse à la fois les côtes orientales et occidentales, il trouve deux grands plateaux à la même hauteur, au-dessus de la zone bien connue qui environne un grand nombre de côtes à une hauteur de 1^m,8 à 12 mètres.

Le premier de ces plateaux, qui se trouve généralement sur ses limites, paraît avoir une hauteur d'environ 19 mètres au-dessus du niveau actuel des marées ordinaires; quelquefois il est un peu plus bas. Il présente une plage (*tidal slope*), formée en général d'un sol sablonneux, qui s'élève en quelques points jusqu'à la hauteur de 24 mètres, mais généralement moins.

Le second plateau présente une pente semblable entre 3/4 et 38 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer.

Sur la côte orientale de l'Écosse, il y a d'autres plateaux d'un

caractère exactement semblable, mais moins nettement dessinés (comme étant plus anciens), et situés respectivement à des hauteurs de 52, 82 et 114 mètres au-dessus de la mer. Il existe probablement en Écosse d'anciens rivages encore plus élevés qui restent encore à découvrir. Dans quelques points le plateau élevé de 19 mètres forme une vaste surface coupée par des cours d'eau. Dans d'autres c'est seulement une bande. Convexe vers la mer, il est ordinairement concave vers la terre, et se fond avec l'escarpement des terres plus élevées.

Le désir de M. Chambers, c'est qu'on fasse les mêmes observations en Angleterre, en Irlande et sur le continent, de mesurer exactement leur hauteur près de la mer et dans l'intérieur des terres, en étudiant leur composition et recherchant s'ils contiennent des coquilles. Il serait indispensable que l'on s'assurât si ces terrasses conservent leur niveau, ou si elles s'élèvent doucement comme celles du Finmack. Le soussigné ajoute qu'en Écosse les terrasses de 1^m,8 à 12 mètres au-dessus du niveau de la mer sont les seules qui aient été étudiées jusqu'ici. Les exemples qui existent en Écosse existent principalement au fond de grands estuaires, où elles paraissent avoir été produites par l'action de la mer. Souvent elles sont superposées, d'autres fois l'une se trouve à une place et l'autre un peu plus loin. Tous les détails sur ce sujet seront reçus avec reconnaissance par le soussigné :

R. Chambers. F. R. S. E. F. G. S.

1. Doun Terrace. — Edimbourg.

A l'occasion de la note ci-dessus, M. Virlet fait remarquer que M. Saigey avait montré que l'influence des montagnes voisines pouvait agir sur la direction de la verticale et par conséquent sur le niveau des mers.

M. Rozet dit qu'il a démontré que les changements de niveau des mers devaient être expliqués par des changements de densité de la croûte terrestre.

M. Élie de Beaumont fait remarquer qu'il s'agit seulement de répéter des observations sur l'ancien niveau de la mer, telles que celles qui ont été faites en Laponie par M. Bravais.

M. Éd. Collomb envoie une courte analyse de son ouvrage sur les anciens glaciers des Vosges (voir la liste des dons, séance de ce jour).

L'ouvrage que j'ai l'honneur de présenter à la Société n'est point une monographie complète du terrain erratique des Vosges ; je n'ai fait que réunir en un volume des observations qui sont en partie connues de la Société, puis quelques mémoires que j'ai publiés dans différents recueils scientifiques, et j'y ai ajouté un certain nombre d'observations nouvelles. Mes cartes ne comprennent qu'un rayon assez restreint du système des Vosges ; mais les faits sur lesquels je m'appuie, quelque peu nombreux qu'ils soient, ont été observés consciencieusement et me paraissent reposer sur une base suffisamment solide pour qu'on puisse considérer l'existence d'anciens glaciers dans nos montagnes comme un fait acquis à la science. Les observations qu'on fera par la suite compléteront ce qui manque, et l'on arrivera ainsi à une carte générale qui comprendra tous les anciens glaciers de ce massif.

Je me suis constamment appuyé d'observations comparatives, faites en Suisse sur les glaciers en activité, ou sur un terrain erratique en voie de formation, mises en parallèle avec des observations recueillies dans nos vallées. Je dois la première idée de ce travail à M. Agassiz, qui m'a beaucoup aidé de ses conseils dans cette circonstance, et auquel je témoigne ici toute ma reconnaissance.

Une de mes planches représente un croquis idéal de l'ancien glacier de la vallée de Saint-Amarin, tel qu'il devait exister dans les temps erratiques à une époque d'extension moyenne. On y voit d'un coup d'œil la disposition et la forme d'ensemble de cette mer de glace anté-historique, ainsi que ses moraines frontales. Les débris qu'elle a déposés sur son littoral sont si clairement indiqués sur le terrain quand on parcourt cette vallée, que ce croquis ne présentait pas de difficulté sérieuse dans son exécution, et qu'il peut être considéré comme une représentation suffisamment exacte de l'état des choses à cette époque.

Quant à la question d'origine, à la cause du phénomène, je me suis abstenu d'en parler. Pourquoi des contrées aujourd'hui cultivées et habitées, possédant une température moyenne annuelle et un climat qui exclut toute idée de grandes glaces permanentes, ont-elles été ensevelies sous des masses formidables de glaces à une époque géologique qui paraît être comparativement récente ? Cette question, dans l'état actuel de nos connaissances, est une des plus difficiles à résoudre. J'ai dû me borner à indiquer sommairement les différentes opinions émises à cet égard dans ces derniers temps.

M. de Verneuil lit une lettre de M. de la Bèche, qui annonce qu'il a demandé, pour la Société, au Gouvernement anglais son ouvrage sur la géologie de l'Angleterre. — Remerciements à M. de la Bèche.

Le Trésorier présente le projet de budget pour l'année 1847.

M. Viquesnel demande qu'une somme de 300 fr. soit ajoutée à celle de 500 fr., figurant au projet de budget pour reliure de livres et collage de cartes, et qu'ainsi ce fonds soit élevé à la somme de 800 fr.

M. Rozet demande qu'on ne change pas le budget.

M. Élie de Beaumont propose de s'en rapporter à cet égard au Conseil.

Le budget est adopté avec la latitude proposée par M. Élie de Beaumont.

Budget présenté par M. DAMOUR, trésorier, pour les Recettes et Dépenses à faire pendant l'année 1847.

RECETTE.

DÉSIGNATION des chapitres de la recette.	NUMÉROS DES ARTICLES	NATURE DES RECETTES.	RECETTES prévues au budget de 1846.	RECETTES effectuées en 1846.	SOMMES admisses pour 1847.
\$1. Produits ordinaires des réceptions. . .	1	Cotisations. . .	10,000 »	9,684 »	10,000 »
	2		800 »	757 10	1,000 »
	3		500 »	510 »	500 »
\$2. Produits extraord. des réceptions. . .	4	Droits d'entrée. . .	500 »	752 50	500 »
	5	Cotisations une fois payées. . .	2,400 »	2,100 »	2,400 »
	6	Bulletins et abonnements. . .	500 »	641 50	500 »
\$3. Publications. . .	7	Vente de Mémoires. . .	1,000 »	1,116 70	1,200 »
	8	cartes coloriées. . .	18 »	92 »	50 »
	9	Arvèrages des rentes sur l'Etat. . .	1,407 »	1,434 »	1,491 »
	10	bons du Trésor. . .	50 »	50 »	50 »
\$4. Recettes diverses. .	11	Recettes imprévues. . .	100 »	80 65	100 »
	12	Remboursement de frais de mandats. .	25 »	15 50	25 »
	13	Recette extraord. relative au Bulletin. .	193 50	343 50	» »
			17,493 50	17,577 45	17,816 »
\$5. Solde des comptes de 1846.	14	Reliquat en caisse au 31 décembre 1846.			4,491 40
		Total de la recette prévue pour 1847.			22,217 40

DÉPENSE.

DÉSIGNATION des chapitres de la dépense.	NUMÉROS DES ARTICLES.	NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES prévues au budget de 1846.	SOMMES dépensées en 1846.	SOMMES admises pour 1847.
§ 1. Personnel.	1	Agent, { son traitement	1,800 »	1,800 »	1,800 »
	2	{ travaux auxiliaires.	300 »	300 »	300 »
	3	{ ses gages.	800 »	800 »	800 »
	4	Garçon de bureau, { gratification.	100 »	100 »	100 »
§ 2. Frais de logement.	5	Loyer, contributions et assurance. . .	1,360 »	1,272 95	1,280 »
	6	Chauffage et éclairage.	400 »	368 55	400 »
§ 3. Frais de bureau. . .	7	Dépenses diverses.	250 »	281 30	300 »
	8	Ports de lettres.	400 »	324 65	350 »
	9	Impressions, lithographies, avis et cir- culaires.	250 »	154 25	200 »
§ 4. Encaissement. . .	10	Change et retour de mandats.	250 »	154 65	200 »
	11	Mobilier.	100 »	89 45	100 »
§ 5. Matériel	12	Bibliothèque.	500 »	159 95	500 »
	13	Collections.	100 »	11 65	100 »
	14	Bulletin. { impression, papier, plan- ches.	5,000 »	4,891 70	5,000 »
§ 6. Publications. . . .	15	{ port.	1,100 »	1,033 20	1,200 »
	16	{ achat d'exemplaires. . .	2,000 »	2,010 »	2,500 »
	17	Mémoires, { dépenses supplémen- taires.	150 »	223 »	100 »
	18	{ menus frais.	50 »	21 45	50 »
§ 7. Placement de ca- pitaux.	19	Achat de rentes sur l'État.	2,400 »	2,027 85	2,400 »
	20	Achat de Bons du Trésor (placement temporaire pour contribuer aux frais de publication de l'ouvrage intitulé : <i>Progrès de la géologie</i>).	1,000 »	1,000 »	1,000 »
§ 8. Dépenses impré- vues.	21	Avances remboursables (Dép. impr.). .	100 »	118 50	100 »
			18,350 »	17,142 80	18,780 »

RÉSULTAT GÉNÉRAL.

La recette présumée étant de. 22,217 fr. 40 c.

La dépense présumée s'élevant à. 18,780 »

L'excédant de la recette sur la dépense est de 3,437 fr. 40 c.

M. Marcou fait la communication suivante :

Notice géologique sur les hautes sommités du Jura comprises entre la Dôle et le Reculet, par M. Jules Marcou.

Topographie. — Le massif de montagnes sur lequel je vais donner quelques remarques géologiques fait partie de la chaîne la plus orientale, et renferme les plus hautes sommités des Monts-Jura. Commencant à la route qui conduit des Rousses à Nyon, par Saint-Cergues, il longe le bassin suisse de l'E.-E.-N. à l'O.-O.-S., suivant la direction générale des chaînes, se termine à la

crête de montagnes qui unit le Reculet au Crédoz, et remonte le long de la vallée de la Valserine et des Dappes, qui lui fait suite, jusqu'au point de rencontre de la route de Gex avec celle de Nyon. Ainsi limité, ce massif présente la forme d'un quadrilatère parallélogrammique, dont les quatre points angulaires seraient les Rousses, Trelex, Saint-Jean de Gonville et Chézery. Sa longueur, prise de la route des Rousses à Saint-Cergues, à la base S. du piton du Reculet, est de 40 kilomètres, et sa largeur moyenne est de 12 kilomètres. — Les différentes parties qui composent ce massif peuvent se réunir en trois groupes, séparés par des vallées ou gorges plus ou moins profondes. Ces différents groupes sont connus, en commençant par le plus au N., sous les noms de la *Dôle*, des *Colombiers* et du *Reculet*. La *Dôle*, dont le point culminant se trouve à 1,680 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, comprend différents pitons et crêtes, dont les plus au S. sont couverts d'épaisses forêts de sapins, et sont connus sous le nom de *Bois de la grotte aux loups*. Elle est séparée, au N. du Noirmont, par la petite vallée qui conduit de Saint-Cergues aux Rousses, et, au S. des Colombiers, par la gorge de la Faucille. Les Colombiers se composent d'une suite de pics qui s'élèvent graduellement de la Faucille, et qui vont ensuite en s'abaissant du côté du chemin de Crozet, près du châlet de la Tremblaine, en formant une courbe de très grand rayon, dont les deux pointes les plus hautes portent le nom des deux *Colombiers de Gex*, et sont élevés de 1,691 mètres et de 1,665 mètres. Enfin le Reculet, qui se trouve compris entre le col de Crozet et la *Roche*, se compose d'une série de pitons, qui sont les plus élevés de tous les Monts-Jura, et dont les plus connus sont : le Montoisey, 1,671 mètres; le crêt de la Neige, 1,723 mètres; et enfin le Reculet, 1,720 mètres. — Les différentes assises de roches qui constituent ces montagnes sont généralement relevées de l'E. à l'O., et plongent, à l'O.-O.-S., sous un angle qui varie de 10 à 30°; elles présentent leurs tranches du côté de la Suisse, et semblent, en regardant ainsi les Alpes et le Salève, indiquer une date à l'époque de leurs dislocations. Les accidents orographiques sont très nombreux, et la régularité que l'on observe, et qui a été décrite avec tant de clarté et de talent par M. Thurmann dans les dislocations de la partie N. des Monts-Jura, ne se rencontre plus ici.

Terrains. — Les quatre étages qui composent le terrain jurassique ne se montrent pas tous à découvert dans ces hautes sommités du Jura, on n'y rencontre que l'étage oxfordien et l'étage oolitique supérieur; les deux autres étages ne se trouvent que plus

à l'E., dans les chaînes moyennes du département de l'Ain. Les pieds et les grandes vallées de la Dôle et du Reculet sont occupés par les différents groupes du néocomien, qui s'étendent comme une ceinture autour de ce massif de montagnes; de sorte que lors de la première période du dépôt néocomien, le massif que je considère augmenté du Mont-Crédoz, formait une petite île ou récif près des côtes de la mer néocomienne. — Les deux étages supérieurs jurassiques que l'on rencontre sur ces hauteurs présentent les plus grandes difficultés d'études, non seulement dans les détails, mais aussi dans la distinction même des deux étages. Je n'ai pu reconnaître sur aucun point du massif l'étage oolitique inférieur, qui est partout recouvert par l'oxfordien; de sorte que je n'aurai à m'occuper que des deux étages supérieurs. — L'oxfordien se montre dans le fond de quelques vallées et ravins des sommets, et dans les gorges profondes et rapides qui se trouvent en montant au Reculet et au Colombier, depuis Thoiry, Allemogne, Crozet, les Échevenex et Divonne; je ne l'ai pas rencontré dans la partie N. du groupe de la Dôle. Le caractère minéralogique ordinaire de l'oxfordien, qui est un très grand développement de marnes, avec nombreux fossiles pyriteux, tel qu'on le rencontre sur tout le pourtour des anciennes îles herzyniennes et vosgiennes, se trouve complètement changé, et ne présente plus ici qu'un immense développement de calcaires gris-bleuâtres, plus ou moins compactes, un peu marneux, par assises variant de 10 à 60 centimètres. Ce caractère, qui indique un facies pélagique, vient à l'appui de cette belle loi, posée par M. Constant Prévost, que « plus l'on s'éloigne des rivages, plus les dépôts marneux diminuent de puissance, et finissent par être remplacés, dans les » parages de hautes mers, par des dépôts calcaires. » Ici la progression est on ne peut plus évidente; malgré les difficultés d'observation que présente un pays aussi disloqué que le Jura, on reconnaît très bien les différentes zones minéralogiques de l'étage marneux oxfordien. Ainsi les régions littorales, limitées par la courbe qui unirait Arau, Saint-Ursanne, Morteau, Ornans et Quingey, présentent un très grand développement de marnes, avec très peu de calcaires marneux; au S.-E. de cette courbe, les régions subpélagiques commencent, en présentant plusieurs couches de calcaires marneux interposés, dont le nombre va toujours en augmentant à mesure que l'on s'éloigne de cette courbe et que l'on s'approche de la courbe limite des régions subpélagiques qui passe par les villes de Moyrans, Saint-Claude, les Rousses et Yverdon. Enfin les régions pélagiques, telles que le massif que je

considère, ne présentent plus de marnes pures, et sont entièrement composées de calcaires plus ou moins marneux. Ce faciès pélagique de l'oxfordien se trouverait probablement au Salève, si la dislocation qui a formé cette montagne avait amené au jour cet étage jurassique.

La paléontologie établit pour l'oxfordien les mêmes zones que celles que je viens de distinguer pétrographiquement. Ainsi, dans les régions littorales, les espèces sont très nombreuses, dans un bon état de conservation, et sont presque toutes pyriteuses; elles appartiennent surtout aux Céphalopodes, aux Gastéropodes et aux Acéphales. Dans les régions subpélagiques, le nombre des individus a beaucoup diminué; les Céphalopodes sont rabougris, plusieurs espèces que l'on ne rencontre pas dans les régions littorales apparaissent, ainsi qu'une grande quantité de Polypiers spongieux et de grosses Térébratules. C'est surtout dans cette région que se trouve développé le sous-groupe contenant les fossiles non pyriteux et les Polypiers spongieux, sous-groupe que j'ai désigné sous le nom d'*argovien* (voir *Bulletin de la Soc. géol. de France*, t. III, 2^e série, p. 505). Enfin, dans les parages de hautes mers, comme au Colombier et au Reculet, les fossiles sont extrêmement rares; ils appartiennent exclusivement aux Céphalopodes, et c'est avec beaucoup de peine que j'ai pu en recueillir trois espèces, deux Ammonites et un Nautil. Déjà, aux approches des limites de la région subpélagique, comme aux environs des Rousses, en suivant la route de Morey aux Rousses, à Prémanon, au pied du crêt des Arcets et du Mont-Fier, les fossiles sont très rares et limités à la seule famille des Céphalopodes tentaculifères. J'y ai recueilli, après beaucoup de recherches, sept espèces d'Ammonites et deux Nautil. Ainsi, comme on le voit, les fossiles présentent, pour leur distribution géographique, les mêmes zones que celles établies par la pétrographie; de sorte que la loi du savant M. Constant Prévost n'est pas basée sur l'arbitraire, mais bien sur un ensemble de faits qui s'enchaînent et qui viennent, en convergeant, se réunir en un faisceau, dont le résultat est l'énonciation d'un des principes qui sont destinés à jeter le plus de clarté sur l'étude des roches sédimentaires. — Les trois espèces de fossiles oxfordiens que j'ai recueillis au Reculet, se trouvent dans les ravins en montant depuis Thoiry, dans le petit vallon d'Ardrant, où l'une des espèces d'Ammonites se trouve encore assez fréquemment par fragment, présentant le moule interne à l'état calcaire, de même nature que la roche oxfordienne de ces régions. Le fragment de *Nautilus giganteus* d'Orb., que j'ai rencontré, se trouvait derrière le Châlet-sur-

Thoiry, où M. le docteur Roux, de Genève, a recueilli plusieurs fragments d'Ammonites, qu'il avait eu l'obligeance de me communiquer. J'ai rencontré aussi les *Ammonites biplex* et *triplex*, Sow., dans le ravin où se trouve le col de Crozet, et près du châlet de la Tremblaine.

L'étage oolitique supérieur forme tous les sommets et les crêtes de ce massif de montagnes, ainsi que les flancs du val de la Valserine et de la vallée suisse; les grandes dislocations auxquelles il a été soumis l'ont rejeté souvent dans des positions qui demandent encore de grandes recherches avant de pouvoir être expliquées d'une manière satisfaisante. Ainsi que je l'ai déjà dit dans ma *Notice sur les différentes formations des terrains jurassiques dans le Jura occidental* (voir p. 11, insérée dans le III^e vol. des *Mémoires de la Soc. des sciences nat. de Neuchâtel*), et dans l'extrait de mes *Recherches géologiques sur le Jura salinois* (voir p. 507, *Bulletin de la Soc. géol. de France*, t. III, 2^e série), l'étage oolitique supérieur ne présente dans ces hautes sommités du Jura qu'un immense développement d'assises non interrompues de calcaires compactes, sans interposition de couches marneuses; de sorte que l'on ne peut pas y reconnaître les différents groupes dont se compose cet étage. Cependant, avec un peu d'attention, on reconnaît assez facilement le groupe corallien, soit au moyen de l'ordre de superposition de l'étage oxfordien, soit au moyen des fossiles. Ainsi le groupe corallien est composé ici d'une très grande quantité d'assises d'un calcaire compacte, gris-blanchâtre, devenant quelquefois très oolitique, subcraieux, et alors étant synchronique de l'oolite corallienne, tandis que les roches de l'étage oxfordien sont des calcaires bleuâtres, un peu marneux, dont la hauteur des couches est beaucoup plus petite que celles des couches coralliennes. J'ai surtout remarqué des assises d'oolites coralliennes dans le chemin qui conduit de la Faucille au sommet du grand Colombier, au point où l'on va quitter le bois pour entrer sur les pâturages, à gauche du chemin, dans une carrière qui a été exploitée pour bâtir les murs de séparation des châlets voisins. Les fossiles que l'on rencontre dans le corallien sont en assez petit nombre, et appartiennent seulement à trois ou quatre espèces; le plus commun est le *Lithodendron Allobrogum*, Thurm., ou une espèce très voisine; on le trouve surtout quelques minutes avant d'arriver dans le vallon d'Ardrant, en montant depuis Thoiry, au Montoisey dans le fond du ravin, du côté du crêt de la Neige, ainsi que dans la gorge qui conduit de Divonne sur les pics du bois de la Grotte-aux-Loups; j'ai aussi rencontré ce *Lithodendron* sur le Salève, près de Monetier, ainsi

que sur les arêtes des Aiguilles de Baulmes, qui regardent le Suchet (canton de Vaud). Les autres fossiles coralliens de ces régions pélagiques sont quelques Astrées assez mal conservées; elles sont roulées et usées, ce qui indique qu'elles y ont été conduites par des charriages; je ne les ai rencontrées qu'en très petite quantité, et seulement près de la route des Rousses à Saint-Cergues, et au pied du grand ravin qui sépare les deux monts Colombiers; dans cette dernière localité, je les ai trouvées au milieu de cailloux éboulés, par conséquent, je ne puis assigner juste leur position; mais ils proviennent certainement des deux crêtes qui dominent le ravin, car le point où je les ai trouvés est élevé de 500 mètres au-dessus de la limite du dépôt erratique du bassin du Rhône. Ces Astrées sont beaucoup plus abondantes et mieux conservées au Salève, où MM. Deluc et Favre en ont recueilli un assez grand nombre, qu'ils possèdent dans leurs belles collections. Dans les petites rectifications que l'on vient de faire à la route des Rousses à Saint-Cergues, j'ai recueilli plusieurs piquants des *Cidaris Blumenbachii* et *coronata*, Agass. Enfin j'ai aussi remarqué sur plusieurs points de ces hautes sommités (notamment au vallon du Reculet proprement dit) des assises que je rapporte au groupe corallien, et qui sont composées d'une multitude de coraux roulés et agglutinés entre eux par un ciment calcaire subcrétacé. Ces coraux sont dans un trop mauvais état de conservation pour permettre même des déterminations de genre; cependant on ne peut rapporter ces débris qu'à des Polypiers roulés et triturés par les charriages. J'ai déjà rencontré des couches tout à fait analogues sur plusieurs points du Jura, et notamment derrière la citadelle de Besançon, en montant des Trois-Chatets à la chapelle des Buis; M. Gressly en signale aussi des assises dans plusieurs localités du Jura soleurois, de sorte qu'il est probable que ces assises lumachelliques de coraux proviennent de la destruction de récifs de Polypiers, dont les débris auront été distribués sur différents points du bassin jurassique par les courants qui existaient alors.

Je n'ai pu distinguer, sur ces hautes sommités, les trois groupes séquanien, kimméridien et portlandien; car on ne rencontre qu'une immense série d'assises de calcaires compactes, gris-blanchâtre, quelquefois oolitiques et bréchiformes, tout à fait semblables aux roches du groupe corallien, et ne renfermant aucun fossile, ou du moins très peu; de sorte qu'il est impossible d'établir des distinctions entre les différents groupes de l'étage oolitique supérieur, et qu'ici, plus que sur aucun autre point du Jura, on voit l'impossibilité de réunir le corallien à l'oxfordien pour en

faire l'étage moyen jurassique, comme l'ont établi la plupart des géologues; tout s'oppose à cette réunion, la pétrographie, la paléontologie, et même l'orographie. Déjà M. Gressly, dans ses *Observations géologiques sur le Jura soleurois*, sépare le corallien de l'oxfordien pour le réunir à l'oolite supérieure; et M. Alphonse Favre, dans son excellent travail intitulé: *Considérations géologiques sur le Mont-Salève et sur les terrains des environs de Genève*, reconnaît l'impossibilité qu'il y a de séparer le corallien des autres groupes de l'oolite supérieur pour cette partie du Jura. — L'oolite supérieur de la Dôle et du Reculet ne peut donc pas se subdiviser en groupes distincts, comme dans les régions subpélagiques et littorales. Les couches des marnes séquaniennes, kimmériennes et portlandiennes ont entièrement disparu pour être remplacées par des assises calcaires. Cependant j'ai reconnu dans le magnifique ploiement du sommet de la Dôle, une couche de calcaire un peu plus grisâtre que les autres assises, et qui renfermait un Ptéroceré roulé, probablement le *Pterocerus Oceani*, Brong., et un fragment de bivalve ressemblant beaucoup à un *Ceromya*, Agass.; de sorte que cette assise pourrait peut-être bien représenter les marnes kimmériennes, ou du moins elle m'a paru être synchronique de l'assise moyenne du groupe portlandien, que M. Favre décrit au Salève, et que j'ai reconnu très bien dans le chemin qui conduit de Monetier à la grange des *Treize-Arbres*, sur le grand Salève. — Les fossiles sont extrêmement rares dans cette partie du Jura, je n'y ai rencontré que deux Nérinées et un Naticé; les Nérinées proviennent du Colombier et le Naticé de la Dôle. Cette absence de fossiles, et surtout le peu de Nérinées que l'on rencontre, vient encore indiquer pour ce massif une région pélagique; car aussitôt que l'on entre dans la zone subpélagique, comme au Noirmont, au Rizou, à Saint-Laurent, dans la chaîne de montagnes qui sépare la vallée de Nozeroy de celle de Mouthe, on trouve dans les dernières assises de l'étage oolitique supérieur une quantité prodigieuse de Nérinées appartenant à sept ou huit espèces différentes. — Le massif de montagnes que je considère augmenté du Crédoz, est, ainsi que je l'ai déjà dit précédemment, entouré par une ceinture de terrain appartenant à l'étage néocomien. Mais toutes les différentes assises qui constituent cet étage ne se rencontrent pas également distribuées sur tout ce pourtour, et offrent, au contraire, dans leur ordre de distribution, des faits de la plus haute importance pour l'histoire de l'élévation successive et lente de cette partie des Monts-Jura. — Les subdivisions néocomiennes sont les mêmes que celles que l'on établit pour le terrain des environs de

Neuchâtel et du canton de Vaud; seulement on y trouve de plus la partie supérieure qui forme la première zone de Rudistes de M. Alcide d'Orbigny. On peut suivre toute la série néocomienne dans le val de la Valserine et la combe de Mijoux, ainsi que sur le revers suisse (canton de Vaud et pays de Gex), où l'on trouve d'excellentes coupes qui permettent des descriptions très détaillées. Mais, comme la plupart de ces localités ont déjà été décrites, soit par M. Itier dans sa *Notice géologique sur la formation néocomienne dans le département de l'Ain*, soit par M. Alphonse Favre, dans le *Mémoire* cité précédemment, je crois superflu, dans cette petite note, de m'arrêter sur des descriptions détaillées de roches, préférant faire connaître la distribution géographique des différentes assises, et plusieurs localités où ce terrain n'avait pas encore été signalé. — En sortant du village des Rousses, on rencontre les premières couches du calcaire jaune néocomien, au pied même du fort que l'on construit sur le mamelon à droite de la route; ces couches occupent le fond de la vallée, et se prolongent d'un côté dans le val du lac de Joux, où elles présentent un bien plus grand développement, et de l'autre côté vers le village des Cressonnières. A ce dernier point, le néocomien se bifurque et suit les parties les plus basses des vallées qui conduisent des Rousses à Saint-Cergues et à Mijoux. Dans cette dernière vallée, il est assez difficile de le suivre depuis les Cressonnières jusqu'à l'extrémité méridionale de la vallée des Dappes; car, comme il ne se compose que d'une dizaine de couches, présentant une hauteur de 2 à 3 mètres de calcaire jaune, quelquefois grisâtre, et à cassure miroitante, la végétation le recouvre le plus souvent, et ce n'est que dans les tranchées faites pour des constructions de murs de séparation des pâturages des châlets, ainsi que sur quelques points de la route, qu'on peut le reconnaître. D'ailleurs on ne peut guère se servir de la discordance de stratification, car les couches ayant été fortement disloquées par les révolutions qui ont succédé au dépôt néocomien, il est presque toujours très difficile d'établir cette discordance de stratification avec les assises jurassiques. Les fossiles sont assez rares dans toute cette partie de la vallée; cependant j'y ai rencontré plusieurs fragments d'*Ostrea Couloni*, d'Orb., et la *Pholadomya Scheuchzeri*, Agass., ce qui ne laisse aucun doute sur la nature néocomienne de ces couches. — Lorsqu'on a atteint l'extrémité de la vallée des Dappes, là où la route la sépare de la combe de Mijoux, les assises néocomiennes s'étendent sur un plus grand espace, et présentent un bien plus grand nombre de couches. Ainsi, en suivant la route jusqu'à la *Conrade*, et même près de

Lavatay, on est continuellement sur le néocomien, et je ferai remarquer en passant que ces points sont de 1,250 à 1,267 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer; tandis qu'à Allemogne, Thoiry et à Arbère, près de Divonne, de l'autre côté de ce massif, les couches supérieures néocomiennes à Rudistes ne sont qu'à 500 et 550 mètres d'élévation; cette remarque me servira plus tard, lorsque je parlerai de l'orographie de cette chaîne. Si, au lieu de continuer à suivre la route de la Faucille, on s'enfonce dans la combe de Mijoux, et qu'on suive toute la vallée de la Valserine, on parcourra avec détail toutes les assises néocomiennes et même le gault; mais comme mon but n'est pas pour le moment de décrire cette vallée, je m'en rapporterai à l'excellent Mémoire cité de M. Jules Itier. Avant de la quitter, je ferai remarquer que l'on trouve sur la route de Gex, entre la Vasserode et la Conrade, dans les assises du calcaire jaune, une mince couche de marnes renfermant, presque à l'exclusion de toute autre espèce de fossiles, une très grande quantité d'*Ostrea macroptera*, Sow. J'avais déjà rencontré cette couche d'*Ostrea* à Censeau (Jura). — La vallée qui conduit des Rousses à Saint-Cergues présente aussi les assises néocomiennes dans ses parties les plus basses; mais, de même que dans la vallée des Dappes, il est souvent assez difficile de le reconnaître, surtout depuis près de la croisée des routes de Gex et de Nyon, jusqu'au sentier qui conduit de Saint-Cergues au sommet de la Dôle, près des rochers de la Trélat; cependant j'en ai constaté l'existence avec certitude, et je les ai même rencontrés sur les premiers gradins de la Dôle, à une assez grande hauteur au-dessus de Saint-Cergues. Dans cette dernière localité, il recouvre tout le plateau, et s'étend du côté de la Reiche et d'Arzier; les calcaires jaunes y sont très développés, et présentent une très grande quantité de fossiles caractéristiques de la partie inférieure, tels que *Ostrea Couloni*, d'Orb.; *Ostrea macroptera*, Sow.; *Janira neocomiensis*, d'Orb.; *Ammonites radiatus*, Brug.; *Corbis cordiformis*, d'Orb.; *Pholadomya elongata* et *Scheuchzeri*, Agass.; *Toxaster complanatus*, Agass.; *Nucleolites Olfersii*, Agass.; *Trigonia caudata*, Agass., etc. — Le néocomien s'étend ensuite au pied E.-E.-S. du Jura, le long du bassin suisse du Léman, en présentant les mêmes séries d'assises que dans la vallée de la Valserine; seulement il est souvent très difficile de l'étudier, parce qu'il est le plus souvent recouvert, soit par la mollasse, le diluvium, le dépôt glaciaire ou erratique, ou bien par la végétation, de sorte qu'on le suit assez difficilement depuis Gevrin, Gingins, Arbère, etc., jusqu'à Thoiry. Dans cette dernière localité, ainsi qu'à Allemogne,

on y trouve la partie supérieure de l'étage néocomien, formant la première zone de Rudistes de M. Alcide d'Orbigny, ainsi que le calcaire à *Pteroceras pelagi* de M. Alphonse Favre. Les couches de ces deux divisions de la partie supérieure du néocomien sont exploitées pour des marbres dans des carrières qui se trouvent derrière Thoiry, un peu au-dessus du village; j'y ai rencontré le *Radiolites neocomiensis*, d'Orb.; des Térébratules, et le *Pterocera pelagi*, d'Orb.; MM. Favre et Roux, de Genève, y ont aussi recueilli les mêmes fossiles, ainsi que plusieurs autres que j'ai vus dans la collection de M. le docteur Roux.

Orographie. — Je ne donnerai pas la description orographique de chacune des montagnes qui composent cette chaîne, me bornant seulement à des généralités sur toute la chaîne, en la considérant par rapport au Salève et au bassin suisse. Cependant je présenterai les coupes de plusieurs ploiements jurassiques qui se trouvent à la Dôle, et que l'on rencontre rarement aussi bien développés.

Si l'on monte à la Dôle depuis Saint-Cergues, on sera frappé, en arrivant sur l'avant-dernier gradin, près du chalet de la Dôle, de la voûte de rochers qui se présentent à vous. Supposons l'observateur placé un peu à droite et en avant du chalet, le dos tourné vers les Alpes; la Dôle s'offrira à lui sous l'aspect d'une immense voûte (voir fig. 2 de la pl. pag. 453), dont les arceaux viennent s'arc-bouter aux pieds de deux pitons, placés l'un au N. et l'autre au S. Les assises de roches qui forment ce magnifique ploiement appartiennent toutes à l'étage oolitique supérieur; mais l'on ne peut y distinguer aucune subdivision en groupe, excepté une mince couche calcaréo-marneuse, que l'on rencontre en montant par le sentier qui porte le nom de *Chemin de de Saussure* (en souvenir du célèbre naturaliste genevois qui décrivit le premier la Dôle), à peu près au tiers de la montée, avant d'arriver au col qui sépare la Dôle du piton N.; je pense que cette assise, dans laquelle j'ai trouvé le *Pterocerus Oceani* et un *Ceromya*, est synchronique du Kimmérien de Porrentruy. — Le ploiement des couches ne se borne pas seulement au sommet de la Dôle, mais une partie des mêmes assises se trouvent encore ployées au-dessous du piton S., où elles ont la forme d'une S placée horizontalement. Cette forme s'explique assez facilement par le moyen des couches supérieures du piton, qui, par leur poids sur les couches inférieures, tendaient à faire glisser celles-ci du côté du S., tandis que la montagne qui se trouve à côté présentant une résistance insurmontable à ces couches, les a obligées de se ployer et de former un contournement à

la base du piton S. (1). Du côté du nord, les assises se sont rompues et ont formé une faille perpendiculaire à l'axe de dislocation de la chaîne ; cette faille occupe toute la gorge qui sépare la Dôle de son piton N. Les couches se relèvent alors, puis elles inclinent de nouveau dans un sens inverse, pour former à l'extrémité du piton une nouvelle voûte, mais qui se trouve dans une direction perpendiculaire à celle de la Dôle. — Un des faits les plus curieux du ploiement de la Dôle est sa position parallèle à l'axe de dislocation de la chaîne entière. Ordinairement les ploiements sont perpendiculaires sur le milieu de l'axe, ou bien réunissent, toujours perpendiculairement, les axes de dislocation de deux chaînes. Il m'a semblé que cette anomalie de position du ploiement de la Dôle pouvait s'expliquer de la manière suivante. Lors des dislocations qui ont donné aux chaînes les plus orientales des monts Jura leurs reliefs, la Dôle s'est d'abord présentée sous la forme d'une voûte, dont les arceaux étaient perpendiculaires à l'axe de la chaîne (comme le prouve encore le ploiement de l'extrémité du piton N.) ; puis la force disloquante agissant avec plus d'intensité sur un point central, les deux parties extrêmes se sont affaissées et ont reçu en outre une partie des couches formant le sommet, qui, à mesure que le point central s'élevait, venaient en glissant se superposer sur les couches placées à la base. De sorte que la Dôle a fini par présenter un cône à angle très obtus, dont une des moitiés, celle placée au S.-E., s'est affaissée pour former le replat où se trouve le chalet de la Dôle ; tandis que l'autre moitié a présenté les couches ployées de la partie intérieure du cône. Vers le N.-E. la voûte ne s'est pas entièrement rompue, et alors il y a eu faille vers le piton N., et une partie de la voûte qui se trouvait perpendiculaire à l'axe s'est conservée et présente un ploiement superbe que l'on observe tout à fait à l'extrémité N. du piton, en un point connu sous le nom de *Fin Château* (voir fig. 3). Ce dernier ploiement peut être vu par tous les voyageurs qui se rendent de Paris à Genève, car on l'aperçoit très bien depuis la route des Rousses à Saint-Cergues, à 7 kilomètres des Rousses, au point où l'on commence à descendre sur Saint-Cergues, à droite de la route, vis-à-vis une

(1) Cet exemple de contournement de couches des roches jurassiques présente, dans la partie sud, plusieurs grottes et cavernes qui sont le résultat de ces ploiements. M. Martins, dans les remarquables leçons de géologie qu'il a faites cet hiver à la Sorbonne, les a cités comme exemples de cavernes par dislocation.

mare d'eau. C'est de ce point que j'ai pris le croquis représenté dans la fig. 3.

Maintenant, si l'on considère l'orographie générale de la chaîne, on est frappé, ainsi que je l'ai dit précédemment, de cette direction des couches qui présentent leurs fronts relevés du côté des Alpes. Cette disposition des assises a fait admettre, par des géologues, que le Jura n'était qu'une conséquence de la grande dislocation des Alpes; tandis que d'autres ont nié toute participation de la dislocation des Alpes dans le relief actuel du Jura. Je crois que cette divergence d'opinions provient de ce que ceux qui ont admis que le Jura était comme un ridement de la dislocation alpine, n'ont étudié que la partie méridionale des chaînes; tandis que ceux qui ont nié toute participation des Alpes ne connaissaient que la partie septentrionale. De sorte que je suis arrivé à admettre que les deux opinions trop exclusives pour toutes les chaînes jurassiques trouvaient leurs applications dans les détails des chaînes suivant les parties que l'on considère. Cependant je dois dire que l'opinion qui rejette toute action alpine dans les dislocations du Jura est celle qui explique le plus de faits; tandis que l'autre est tout à fait inadmissible comme thèse générale. En présentant ici mes idées actuelles sur les dislocations jurassiques, je ne prétends pas les donner comme définitives, car elles pourront très bien être modifiées par mes observations ultérieures, ainsi que par les observations des géologues qui s'occupent de ces montagnes; mais je les donne seulement comme étant le résultat actuel auquel les recherches que j'ai faites jusqu'à présent m'ont conduit. — A la fin de la période portlandienne, une énorme dislocation eut lieu sur le pourtour des îles formées par les Vosges et le Schwarzwald, surtout dans les parties méridionales et orientales, ce qui donna naissance au système de montagne des monts Jura. Les parties les plus proches de ces anciennes îles, formant actuellement les départements de la Haute-Saône, du Doubs, du Haut-Rhin et du Jura, ainsi que les cantons de Bâle, de Schaffouse, d'Argovie, de Soleure, du Jura bernois et de Neuchâtel, reçurent à cette époque, et dans un espace de temps assez limité, le relief principal qu'elles ont actuellement, sauf quelques légères modifications apportées plus tard, mais qui n'ont fait que de raviner un peu plus les vallées et creuser quelques chuses et ruz. Le mouvement qui a déterminé ce relief paraît s'être opéré de l'E.-E.-N. à l'O.-O.-S. en suivant une marche progressive et s'avancant ainsi des environs de Schaffouse aux environs de Lons-le-Saunier et Saint-Amour. Ce

mouvement produisit, au sein des couches que la mer jurassique venait de déposer, une série de dislocation affectant des formes plus ou moins régulières, suivant que les couches avaient été rompues, en s'écartant très peu des lignes de dislocation, ou bien en glissant sur de très grandes longueurs, ce qui produisit d'immenses failles, dont le résultat fut un très grand relèvement et un bouleversement complet des assises qui se trouvaient dans ces régions. — La régularité dans les dislocations eut surtout lieu dans les parties orientales et au milieu des chaînes, principalement dans le Porrentruy et le canton de Soleure, où M. Thurmann, puis plus tard M. Gressly, ont si bien étudié les phénomènes déterminés par cette régularité des forces disloquantes. Mais dans les régions occidentales, surtout dans les vallées de l'Ognon et du Doubs, ainsi que dans les environs de Besançon et de Salins, on n'observe plus que très rarement cette régularité, qui se trouve remplacée par un système de faille, dont le résultat a été de jeter le plus grand trouble dans l'ordre de superposition des assises et dans les détails orographiques. Les failles, ainsi que les chaînes dont se compose le Jura, ne sont pas parallèles, mais se coupent sous des angles, il est vrai assez aigus, quoique plusieurs renferment 60 degrés d'ouverture. A Salins, par exemple, deux failles énormes viennent se rejoindre au pied S. du mont Poupet, sous un angle de 64 degrés; l'une se dirige par Montmahoux, du côté de Vercel, en mettant en contact l'étage supérieur jurassique avec le lias et l'oolite inférieur; tandis que l'autre suit le pied de la montagne qui longe de Quingey à Salins, traverse la Loue et va passer derrière Besançon près du marais de Sône; cette dernière faille met aussi en contact l'oolite supérieur successivement avec le keuper, le lias et l'oolite inférieur. — Ces différentes failles que l'on remarque dans le Jura occidental sont les résultats de l'écaillage qui a formé les plateaux supérieurs du Jura; car on les rencontre presque toujours sur les flancs des abruptes qui terminent ces plateaux, appuyés fortement contre les couches inférieures, qu'elles ont forcées à se relever beaucoup plus qu'elles ne l'étaient primitivement. Cette application à la base d'un plateau et en général d'une montagne quelconque (pourvu toutefois qu'elle soit composée entièrement de dépôts sédimentaires), d'une force produite par l'immense poids d'un ou de plusieurs étages supérieurs par ordre chronologique à celui de la montagne, a dû souvent être la force qui a contribué le plus au relèvement des couches de la montagne, surtout si l'on fait attention au certain degré de plasticité que devaient avoir des couches déposées depuis

peu ; plasticité prouvée par le grand nombre de stries parallèles entre elles que l'on trouve sur les roches aux points de contact des assises. Il me semble que l'on n'a pas assez fait attention jusqu'à présent, surtout pour le Jura, aux modifications qu'a dû apporter le phénomène que je viens d'établir précédemment, et qu'en l'observant avec soin, on pourra, je ne dis pas toujours, mais souvent, rendre compte d'accidents orographiques, souvent très difficiles à expliquer. — Après que la principale dislocation jurassique se fut opérée, la partie méridionale présentait une grande quantité de golfes, fiords et bras de mer qui pénétraient dans les différentes vallées de séparation des parties S.-E. des chaînes. La nouvelle ligne du niveau de la mer se trouva reculée de l'ancienne par tout le massif de montagnes qui s'étend de Bâle à Saint-Amour ; seulement la mer n'abandonna pas immédiatement toutes les parties de ces montagnes, mais y resta sur plusieurs points pendant la première période crétacée. Il serait assez difficile de tracer, avec les observations actuelles, les différentes lignes de niveau de la mer néocomienne dans le Jura ; car il se fit, pendant toute la durée du dépôt néocomien, une élévation lente du sol, analogue à celle qui s'opère actuellement en Scandinavie ; ce qui devait changer très fréquemment la ligne de niveau et l'orographie des bords de cette mer. J'essaierai seulement d'établir ces lignes pour le massif de montagnes que je considère ; plus tard j'espère pouvoir les donner pour tous les points où le néocomien se rencontre, mais cela me demandera encore beaucoup de recherches et de temps. — Ainsi que je l'ai dit précédemment, le massif des hautes sommités du Jura est entouré par le dépôt néocomien ; par conséquent, au moment du commencement de la période néocomienne, ce massif formait une île où un récif près de la falaise S.-E. du Jura, et alors la ligne de niveau de la mer passait par les Rousses, Lavatay, Neuchâtel, Bienne, Censeau, Pontarlier et Mouthe. Or, ces divers points se trouvent maintenant à des niveaux bien différents, car les Rousses sont à 1,130 mètres, Lavatay à 1,260, Neuchâtel à 438, Bienne à 436, Censeau à 850, Pontarlier à 870, et enfin Mouthe à 936 mètres ; de sorte que les dislocations ultérieures qu'ont éprouvées ces différents points ont agi avec beaucoup plus d'intensité sur les uns que sur les autres, et que l'on ne peut admettre une élévation régulière de la masse générale du Jura méridional et oriental. Voyons comment sont distribués les points les plus élevés, et si l'on peut tirer de leur distribution des conséquences sur ce qui a produit ces élévations. D'abord on remarque que c'est dans les chaînes le plus au S.-E.,

comme les hautes sommités du Chasseron, du Mont-d'Or, du Mont-Tendre, de la Dôle, du Reculet et du Crêt-de-Chalam, dont les chaînes bornent le bassin du Léman, que le néocomien a été élevé le plus haut, et que ses assises sont les plus relevées. D'un autre côté, ces élévations suivent une espèce de progression depuis Neuchâtel et Bienne, jusqu'à Lavatay où elles ont atteint leur maximum pour redescendre ensuite du côté de la perte du Rhône. Cette progression d'élévation du dépôt néocomien n'a pas seulement lieu dans la direction du N. au S., mais aussi de l'E. à l'O., où l'on trouve que plus l'on s'approche des plateaux les plus inférieurs du Jura, plus le néocomien se trouve peu relevé et à une hauteur relative bien moindre que dans les régions tout à fait à l'E. D'ailleurs, il faut bien remarquer que les plus hautes sommités du Jura se trouvent vis-à-vis du massif du Mont-Blanc, là où précisément le bassin suisse est le plus rétréci, et où l'on ne compte que 24 kilomètres de distance entre les premières montagnes des Alpes (les Voirons, le Môle, etc.) et le Jura; et que les assises néocomiennes du pied suisse du Jura sont fortement relevées contre les abruptes des montagnes, tandis que les assises de la molasse, dont le dépôt s'est opéré après la dislocation des Alpes occidentales, sont presque toutes horizontales, ainsi que les couches de l'alluvion ancienne; et que ces assises molassiques ne se trouvent pas dans l'intérieur des chaînes de cette partie du Jura, tandis qu'on les rencontre depuis la Chaux-de-Fonds, Pontarlier, jusque dans l'Argovie, dans l'intérieur des vallées longitudinales du N.-E. des chaînes; et par conséquent la mer a changé de niveau au commencement de l'époque de la molasse, elle s'est retirée des parties méridionales pour se porter dans les parties septentrionales. — Pour expliquer les faits contenus dans les remarques précédentes, il n'est guère possible de le faire sans admettre que la grande dislocation des Alpes occidentales a fait sentir son influence sur la partie S.-E. du Jura. Car, en admettant une nouvelle dislocation jurassique, agissant dans le même sens que la première, comment expliquer son action seulement dans la partie S.-E., tandis que dans les autres parties elle n'a eu qu'une action excessivement faible par rapport à la première; et comment aussi, surtout, expliquer cette différence de niveau du néocomien dans la vallée de la Valserine et des Rousses, par rapport à la ligne néocomienne qui se trouve de l'autre côté de la chaîne, le long du bassin du Léman et sur le Salève (voir la planche p. 453, fig. 1)? — Tandis qu'en admettant l'influence de la grande dislocation des Alpes occidentales, les faits reçoivent une explica-

tion claire et naturelle. En effet, la grande masse des Alpes, en s'élevant, vint comprimer et enclonner, entre elle et le Jura, les divers terrains qui se trouvent placés dans le bassin suisse actuel; car les Alpes, par l'effet même de leur structure en éventail, ont rejeté les terrains calcaires sur leurs bords, et ont ainsi accumulé une grande force de pression latérale et perpendiculaire dans le bassin de la basse Suisse. Ces deux forces, l'une latérale, provenant de l'encaissement des assises entre les Alpes et le Jura, et l'autre perpendiculaire au plan tangent au rayon du globe, aboutissant dans la basse Suisse et provenant du poids même des assises, ont eu pour résultante une force énorme qui s'est appliquée au pied du Jura sous un angle qui a pu varier de 10 à 20 degrés. Cette force a eu pour conséquence un relèvement du massif du Jura. Mais comme elle avait beaucoup plus d'intensité vers ses points d'application, elle a dû relever davantage la première chaîne qui bordait le bassin suisse, et c'est en effet ce qui est arrivé, car c'est là que l'on trouve actuellement les points les plus élevés du Jura, et les assises aussi bien jurassiques que néocomiennes, qui constituent ces hautes montagnes, sont redressées du côté de la vallée suisse. A mesure que l'on s'avance vers l'O., la hauteur des montagnes diminue progressivement et le néocomien qui se trouve à 1,200 mètres à Lavatay, n'est plus qu'à 800 mètres à Censeau dont la position est à 25 kilomètres plus à l'O.; de sorte que la force diminuait d'intensité à mesure que l'on s'éloignait de ses points d'application, et qu'elle a dû être excessivement faible et même presque complètement nulle sur le premier plateau placé à l'O., et qui s'étend de Salins à Lons-le-Saunier et Saint-Amour. En effet, on ne rencontre sur ce plateau aucun fait que l'on puisse rapporter à cette force alpine, le néocomien ne s'y trouvant sur aucun point, et les assises présentant leurs fronts relevés du côté de la Côte-d'Or. — L'inégalité dans les cotes de hauteur des montagnes qui constituent la chaîne bordant le bassin suisse, s'explique très facilement par la topographie de la basse Suisse. En effet, c'est vers les points où ce bassin est le plus étroit que sont les plus hautes montagnes du Jura; ainsi la Dôle, le Colombier et le Reculet ne sont séparés des Alpes que par le petit bassin de Genève. A mesure que l'on s'avance du côté de Neuchâtel et de Bienne, le bassin suisse s'élargissant beaucoup, la force avait une bien moindre intensité; aussi les montagnes diminuent-elles de hauteur. Enfin, à partir de Bienne, et en suivant le long de l'Aar à Soleure, Arau, etc., on voit que la force a eu une influence extrêmement restreinte; ce qui se comprend

très bien par l'éloignement de ces points aux Alpes, et aussi par la moindre hauteur qu'ont les massifs alpins qui se trouvent de ce côté. D'ailleurs, dans les endroits où le bassin suisse est le plus large, les terrains jurassiques et néocomiens ont éprouvé des plissements et dislocations qui ont par ce moyen en partie détruit la force qui devait s'appliquer au pied du Jura; ainsi le Jorat et plusieurs petites montagnes des cantons de Fribourg et de Berne doivent leur première origine à cette dislocation des Alpes. Le Salève formait déjà une colline sous-marine lors du dépôt néocomien, comme l'a très bien démontré M. Favre; mais son grand relief s'est pris à l'époque de la dislocation des Alpes.

Ainsi, en résumé, on voit que si j'admets que les Alpes ont agi sur le Jura, ce n'est que d'une manière secondaire, et qu'elles n'ont eu pour résultat que d'élever fortement au-dessus des eaux la partie comprise entre Bienne, Morteau, Censeau, Arinthod, Belley, Gex et Orbe, dont le relief était déjà pris depuis l'époque de la dislocation jurassique, et qui formaient des îles, îlots, récifs et collines sous-marines pendant la période néocomienne. Les autres dislocations qui ont amené le retrait des eaux de la mer des parties environnantes du Jura ont apporté peu de modifications à ce système de montagnes, il n'y a guère eu que la dislocation molassique qui s'est fait un peu sentir dans la partie N.-E. En livrant ces réflexions aux géologues, j'ai moins eu pour but de donner cela comme une théorie achevée, que d'attirer leur attention sur la manière d'envisager la question de la dislocation néocomienne dans le Jura.

1. *Coupe du Salève au Reculet.*

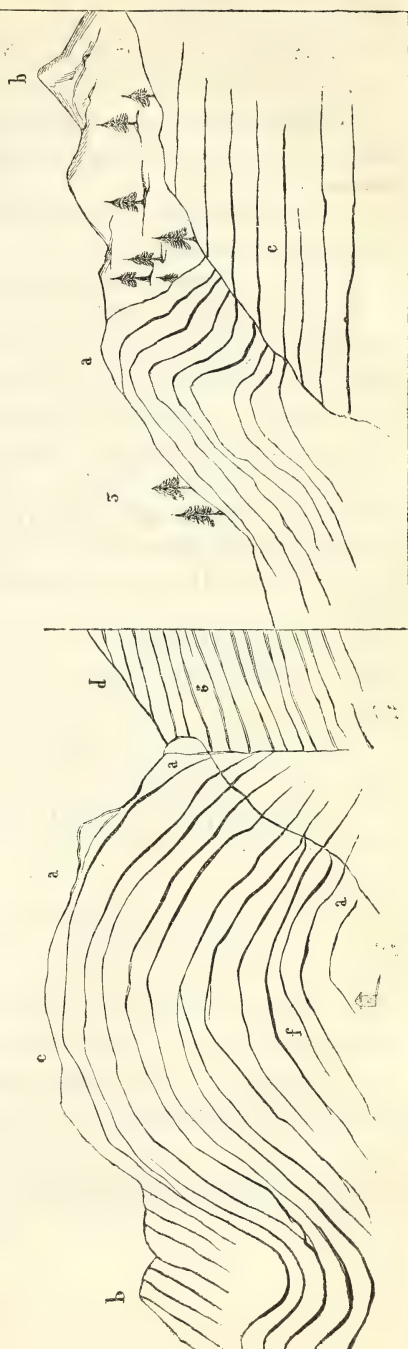
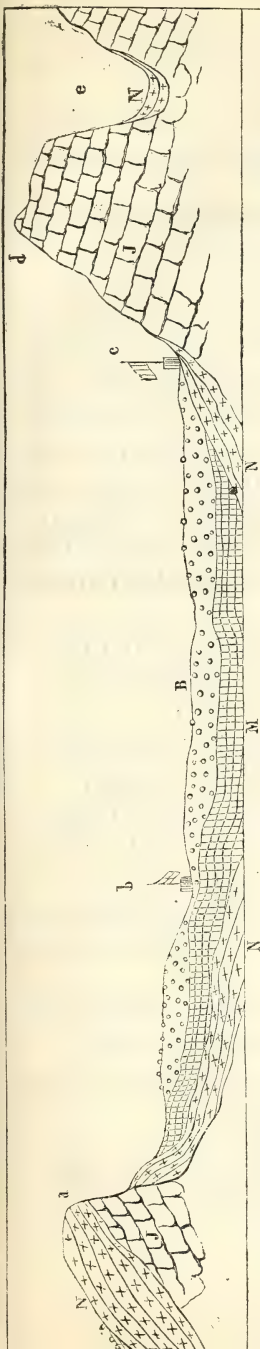
a Salève, *b* Genève, *c* Thoiry, *d* Reculet, *e* vallée de Valserine, B blocs erratiques et alluvions, M molasse, N terrain néocomien, J terrain jurassique.

2. *Coupe du sommet de la Dôle, allant du N. au S.*

aaa chemin de de Saussure, *b* piton du S., *c* la Dôle, *d* piton du N., *e* chalet du creux, *f* chalet de la Dôle, *g* faille.

3. *Vue du ploiement du piton N. de la Dôle.*

a Fin Château, *b* piton N., *c* rochers de la Trélat.



M. Rozet rappelle qu'il a publié dans le t. VI du *Bulletin*, 1^{re} série, un Mémoire sur les soulèvements jurassiques, où il assure avoir rapporté les mêmes faits que M. Marcou sur l'influence des Alpes sur le soulèvement du Jura.

M. Marcou répond que le soulèvement de la partie occidentale du Jura peut s'expliquer par celui des Alpes, mais non la partie septentrionale.

M. Élie de Beaumont demande si les résultats de M. Marcou confirment les siens.

M. Marcou répond affirmativement.

M. Desor dit que le soulèvement septentrional du Jura, depuis Neuchâtel, est indépendant de celui des Alpes. Il y a un soulèvement portlandien avant le dépôt du néocomien, car il n'y en a pas dans les vallées intermédiaires. Mais dans le Jura méridional les voûtes seules ont été soulevées au-dessus de la mer néocomienne qui s'est déposée dans les intervalles. Les voûtes étaient probablement peu élevées au-dessus du néocomien, qui, dans les Alpes de Saint-Gall, a été élevé à 1500 mètres. Dans la vallée de la Chaux-de-Fond il y a des terrains tertiaires redressés.

M. Élie de Beaumont rapporte le soulèvement du Jura à celui de la Côte-d'Or, influencé ensuite par le soulèvement des Alpes.

M. Rozet pense que les différents soulèvements de M. Thurmann pourraient très bien avoir eu lieu en même temps.

M. Marcou rappelle les différences que M. Renaud-Comte a signalées entre les vallées d'érosion et les vallées de dislocation (1).

M. Rozet dénie à l'eau le pouvoir de couper des rochers; il y a eu d'abord dislocation, puis érosion dans le sens des lignes de plus grande pente.

M. Marcou répond que les vallées ne sont pas creusées uniquement par les eaux, mais seulement érodées par elles.

M. Constant Prévost communique l'extrait suivant d'une lettre qui lui est adressée de Vienne par M. Boué.

(1) Voir *Étude systématique des vallées d'érosion dans le département du Doubs*, par Renaud-Comte; *Mémoires de la Soc. d'émulation du Doubs*, t. II, 1846.

Mon cher monsieur,

Je ne sais pas si ma lettre sera inutile ; si c'était le cas, je ne la regretterais pas, puisqu'elle m'aurait donné une occasion de vous renouveler mes sentiments d'estime ; si elle ne l'était pas, elle servira à éclaircir une question scientifique qui vous touche de près, d'autant plus que sa solution est contraire à celle que vous avez donnée. Mais je connais assez votre amour de la vérité pour prévoir que vous m'en voudriez presque, si j'adressais ces mots à quelque autre qu'à vous. La science marche toujours, tandis que nous vieillissons malheureusement ; heureux ceux qui ne se pétrifient pas et deviennent ainsi sourds à tout avertissement ou à toute nouveauté ! Nous ne sommes pas dans ce cas, ni vous ni moi. A la question.... Il s'agit de vos marnes en formes régulières pyramidales de Montmartre (*Journ. des mines*, 1809, p. 227, et *Bull. Soc. philom.*, avril 1809, *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 1837, 1^{re} série, v. VIII, p. 320). Vous, Beudant (*Traité de minéral.*, 1830, p. 152), etc., les déclarez un *accident de retrait*, etc. ; vous protestez même (*Bullet.*, p. 220) contre l'idée que ce sont des pseudomorphoses de sel marin, quoique vous donniez bien des preuves à l'appui de cette idée, savoir, les formes, les stries des pyramides et les cavités vides avec des fissures à leur pourtour (p. 321). — M. Haidinger, qui a livré une suite de travaux consciencieux et remarquables sur les pseudomorphoses de 1827 à 1847, vient de prouver mathématiquement qu'on a pu tracer la série intermédiaire entre vos marnes pyramidales et des pseudomorphoses incontestables de sel gemme. Son Mémoire intitulé *Sur les pseudomorphoses d'après le sel gemme* (*Naturwissenschaftliche Abhandlungen*, publiés par lui pour la Soc. des Amis de l'hist. nat. à Vienne, 1847, v. I, p. 65-79).

L'estimable auteur commence par parler de la description par Haussmann de pyramides quadrangulaires et de cavités de cette forme dans une marne bitumineuse du muschelkalk des bords du Weser (*Nachricht. v. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen*, 1846, 7 décembre, n° 17). Haussmann déclare ces solides des pseudomorphoses de sel, et les croit placés sur la limite des gypses secondaires ; les cavités striées en forme d'escalier sont composées, à ce qu'on voit fréquemment dans les cuves à évaporation pour les eaux salées, de cristaux de sel s'y formant dans l'argile et sont dissous plus tard, en ne laissant que l'indication de leurs formes.

D'une autre part, le professeur Amos Eaton a décrit des pseudomorphoses toutes semblables dans des marnes calcaires salifères du

groupe silurien supérieur, savoir, le groupe dit d'Onondaga dans les États-Unis (*Amer. J. of sc.*, 1829, v. XV, n° 2; *Phil. Mag.*, 1829, n° 31, p. 72). M. Haidinger a obtenu de ces pseudomorphoses, soit solides, soit creuses, de Syracuse (*Et. de N. Y.*). On y revoit les stries en escalier, en bosse et en creux. Pendant la dissolution des particules du sel, il s'est déposé dans les cavités des cristaux microscopiques de quartz et de chaux carbonatée.

M. Haidinger a décrit des pseudomorphoses de gypse d'après des cristaux de sel de Gössling (Autriche); ce sont des cubes un peu déformés à cause de la pression éprouvée par le limon où ils s'étaient formés. Les cavités sont tapissées de cristaux de quartz et de spath magnésien ou dolomie. (*Zeit. f. Physik de Vienne*, v. IV, c. 4, p. 225.)

Mais on voit à Hall, en Tyrol, des cristaux de sel où cette opération de déplacement se continue encore, de manière qu'on peut collecter des échantillons qui montrent le passage de l'existence entière de semblables cubes solides jusqu'à celle où il n'en reste que le squelette, ou même jusqu'au point où les cavités occupées sont totalement vides. Dans les intermédiaires, on voit les solides devenir toujours plus petits en laissant plus de vides. Ces apparences se revoient toutes dans les cuves à évaporation du sel. De l'eau remplit encore quelquefois les cavités où le sel existait jadis.

L'auteur vient ensuite à parler des pyramides marneuses de Montmartre situées dans un dépôt marin, ce qui est prouvé maintenant aussi bien par la présence des coquillages cités que par la présence des pseudomorphoses en question.

Une solution gypseuse a dissous vos cristaux de sel gemme empâtés dans la marne marine, tandis qu'il s'est formé des cristaux de sélénites dans les marnes plus compactes et sans fossiles, qui recouvraient la couche à cristaux de sel. Le gypse niviforme semblerait aussi une indication d'action pseudomorphique.

M. Partsch a trouvé à Koneck, près du mont Oetscher, des cubes de $\frac{3}{4}$ de pouce sur les côtés et composés de six pyramides dont les sommets convergent. Cette pseudomorphose est dans un grès fin quartzeux et poreux. Les cubes solides sont composés de grains fins de quartz, mais on y reconnaît encore les surfaces en escalier des pyramides du sel, tandis que la surface du cube est encore bien visible par une fine ligne de séparation. La structure feuilletée du grès ne se prolonge pas à travers les cubes. Les particules sableuses auront remplacé petit à petit celles du sel.

M. Haidinger a des cubes de sel remplacés par de l'anhydrite

bleue, dont les faces sont concaves et les arêtes saillantes par suite de la pression; ces échantillons viennent de Hallein en Salzbourg.

La collection des mines possède des échantillons de pseudomorphoses cubiques de sel remplacé par des cristaux de sélénite d'Aix en Provence. Les cubes sont déformés. Des cristaux de sel dans l'argile ont été peu à peu dissous et comprimés pendant que du sulfate de chaux blanc se déposait sur la surface, tandis que l'intérieur s'est rempli de sélénite colorée par l'oxyde hydraté de fer.

A Pirano, en Istrie, on a trouvé des petites cavités cubiques tapissées de cristaux d'anhydrite : elles sont dans une marne appartenant probablement au grand système à Nummulites, l'épicrotécé de Leymerie, l'hétrurien de Pilla, système qui comprend une grande partie de l'Istrie, de la Dalmatie, la partie côtière de la haute Albanie, entre la mer et la vallée de l'Hismo, d'une portion de la partie de l'Épire entre la mer et la vallée du Voioutza ou Acres. Ce système y repose et recouvre le véritable système crétacé à Rudistes, qui ressort çà et là en montagnes ou chaînes, ou se montre dans le fond des vallées.

M. Haidinger a reçu du terrain salifère de Soovar des pseudomorphoses cubiques comprimées et déformées, qui offrent à leur extérieur une croûte de cristaux de dolomie et un *seul* cristal de gypse dans leur intérieur, cristal qui remplit tout l'espace de ce dernier. Il y a donc eu formation de sel dans la marne, présence d'une solution saturée saline qui a aidé la formation du double carbonate de chaux et de magnésie (opération catogène), disparition du reste du sel marin et cristallisation du sulfate hydraté de chaux par suite de l'arrivée de sulfates à la place d'hydrochlorates; la solution de sel est devenue moins saturée, l'eau a dissous le gypse à la surface pour laisser entre lui et la dolomie un petit espace vide qu'on trouve dans tous les échantillons.

Si le grès cristallisé rhomboédrique de Fontainebleau dépend bien de la chaux carbonatée infiltrée, il n'en est pas ainsi des grès cristallisés cubiques, qui existent dans certaines couches arénacéo-marneuses du keuper en Westphalie, en Wirtemberg et en Thuringe. Ces cristallisations si fréquentes ont frappé les minéralogistes et les géologues depuis longues années, et, à leur sujet, nous pourrions noter ici plus de douze citations d'auteurs depuis Bruckmann en 1780 (*Schrift d. Berlin Gesellsch. Naturforsch Freund.*) jusqu'à Noeggerath (*N. Jahrb. f. min.*, 1846, c. 3, p. 307). Ce dernier a déjà reconnu que ce sont aussi des pseudomorphoses de sel gemme. Voici l'explication qu'en donne notre ingénieux Haidinger. Les surfaces couvertes de ces nombreux cubes de sel étaient

les parties inférieures de couches de grès reposant sur des marnes. C'est sur la surface de ces dernières que s'est cristallisé le sel, pendant que les marnes étaient encore un limon, de manière à y laisser l'empreinte de la surface inférieure de leurs cubes. Une eau limoneuse les a recouvertes de sable, ce qui a détruit peut-être déjà les parties supérieures des cubes, et a renfermé dans le grès le reste de ces cristaux. Plus tard ces derniers furent dissous et remplacés petit à petit par des particules sableuses qui n'étaient pas encore agrégées en grès.

Dans la Hesse il y a de ces mêmes cubes qui sont remplis de calcaire compacte et qui offrent à leurs surfaces des stries en partie en escalier.

Les pseudomorphoses de sel sont donc jusqu'ici les suivantes, savoir : 1^o Celles du sel ayant remplacé du sel (Mém. de Haidinger, *Abh. d. K. Ges. d. Wiss. von Bohmen*, 5 sér., v. III, p. 3, et Noeggerath, *Jahrb. f. min.*) ;

2^o Le Polyhalite (Mém. de Haidinger, *Zeit. f. Phys.*, v. IV), et Blum, *Pseudomorphoses*, p. 223 ;

3^o Ps. en gypse ; 4^o Ps. en gypse avec croûte de dolomie ; 5^o Ps. d'anhydrite ; 6^o Cavités vides ; 7^o Ps. remplies de grès ; 8^o Ps. remplies de calcaire.

M. Constant Prévost met ensuite sous les yeux de la Société plusieurs échantillons de marnes et de calcaires dans lesquels se voient les divisions à formes pyramidales qu'il a fait connaître en 1809, et dont l'explication, qu'il a cru devoir en donner alors, est aujourd'hui contestée par M. Haidinger.

M. Constant Prévost renvoie pour l'exposition de la question dont il s'agit au *Journal des mines* pour l'année 1809 et au *Bulletin de la Société géologique*, 1^{re} série, t. VIII, p. 320, séance du 19 juin 1837, pl. VII, fig. 3.

Sans prétendre discuter les opinions auxquelles M. Haidinger s'est arrêté de préférence, puisqu'il ne connaît, dans ce moment, ni les faits ni les raisons sur lesquels ces opinions sont fondées, M. Constant Prévost demande si dans les phénomènes observés il ne pourrait pas y avoir réellement deux causes : 1^o le remplacement de cristaux cubiques, comme cela paraît incontestable, pour les cubes que l'on voit à la surface des plaques de grès du Keuper, et 2^o un retrait qui se serait opéré d'une manière régulière dans des directions perpendicu-

lares à chacune des faces d'un cristal cubique, ou d'une cavité cubique laissée par un cristal de cette forme, dont la substance aurait disparu sans avoir été remplacée.

C'est ainsi que M. Constant Prévost a conçu la division des marnes argileuses de Montmartre, dont il croyait avoir trouvé l'explication dans les cavités cubiques des marnes calcaires de Montmorency et de Moulignon.

Il fait observer que dans aucun cas les pyramides quadrilatères dont chaque face est plissée parallèlement à sa base ne sont isolées; qu'il y en a toujours six dont les sommets convergent vers une cavité centrale dont la forme est cubique; que chaque face de chacune de ces pyramides est par conséquent et nécessairement en contact avec une face de l'une des cinq autres pyramides, et que rien, dans ce système, ne rappelle les trémies de sel marin. Il faut faire remarquer de plus que la base carrée des pyramides ne se sépare jamais de la gangue, comme le font les côtés, de telle sorte que l'existence d'un cube est plutôt idéale que réelle, puisque l'idée de ce cube ne résulte que de la juxtaposition de six pyramides quadrangulaires dont les sommets convergent. Le fait est que pour les marnes des environs de Paris les résultats sont exactement ceux que l'on obtiendrait si l'on admet dans une masse susceptible de retrait une cavité cubique d'une dimension quelconque, et si l'on suppose que la matière s'éloigne du centre de la cavité perpendiculairement à chacune des six faces de cette cavité. On voit que nécessairement des solutions de continuité auront lieu suivant la ligne de jonction de chaque deux surfaces et dans un plan prolongé intermédiairement à ces deux faces; qu'il en résultera la division de la gangue qui environne la cavité cubique en six pyramides dont les dimensions croîtront à mesure que le retrait augmentera, et la surface des côtés de chaque pyramide pourra être plissée par l'effet de ce retrait même. M. Constant Prévost, en terminant, remercie M. A. Boué du nouveau témoignage de confiance et de bonne confraternité qu'il a bien voulu lui donner en lui adressant directement des observations qui semblent contredire une opinion qu'il a cru pouvoir soutenir anciennement.

Séance du 15 février 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Ch. Martins, secrétaire pour l'Étranger, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite de la présentation faite dans la dernière séance, le Président proclame membre de la Société,

M. BABEAU (Eugène), notaire, à Langres (Haute-Marne), présenté par MM. Cornuel et Barotte.

Le Président annonce ensuite une présentation.

DONS FAITS À LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le ministre de la Justice, *Journal des Savants*, janvier 1847.

De la part de M. Degousée, *Guide du sondeur, ou Traité théorique et pratique des sondages*; in-8°, 504 p., avec atlas de 34 pl. Paris, 1847.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, nos 5—6.

L'Institut; 1847, nos 683—684.

Mémoires de la Société d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres de Bayeux; t. III, in-8°, 1845.

The Athenæum; 1847, nos 1006—1007.

The Mining journal; 1847, nos 598—599.

M. Le Blanc, secrétaire, présente quelques développements sur le contenu de l'ouvrage de M. Degousée offert aujourd'hui à la Société. Le *Guide du sondeur* de M. Degousée, dit-il, est un ouvrage entièrement neuf, et manquait à la science. La rapidité des progrès faits depuis quelques années dans l'art des sondages explique pourquoi on n'avait pas encore pu les réunir en un corps de doctrine. La table des matières que nous donnons ci-après indique les renseignements qu'on peut puiser dans cet ouvrage. Le chapitre VIII paraît devoir intéresser particulièrement tous les géologues. — L'ouvrage est édité, au

prix de 15 francs, par MM. Langlois et Leclercq, rue de la Harpe, 84.

Table des matières.

CHAPITRE I^{er}. — PRÉCIS HISTORIQUE ET THÉORIQUE DE L'ART DES SONDAGES.

CHAPITRE II. — PRÉCIS GÉOLOGIQUE.

INTRODUCTION. Définition et but de la géologie. — Origine présumée de la terre, développements successifs de sa masse; son état actuel.

ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DE L'ÉCORCE SOLIDE. Composition et structure. — Age (terrains). — Applications industrielles.

L'étude systématique du sol est développée ainsi qu'il suit :

Ce que l'on doit entendre par *minéraux, roches, fossiles*; description sommaire des espèces les plus importantes. — Structure générale et particulière de l'écorce solide (*couches, filons, amas, brèches, concrétions*, etc.).

Ce que l'on doit entendre par *terrains*. — Division générale des terrains en *stratifiés* et *non stratifiés*. — Nomenclature et description des terrains stratifiés (d'après MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy). — Nomenclature et description des terrains non stratifiés.

Ce que c'est qu'un *bassin géologique*. — Aspect général des bassins géologiques secondaires et tertiaires. — Dispositions favorables à l'établissement des puits artésiens. — Gisements habituels des combustibles fossiles qui peuvent être recherchés par sondages (anthracite, houille, lignite, tourbe). — Recherches du sel gemme et des eaux salées.

CHAPITRE III. — CONNAISSANCES NÉCESSAIRES ET DEVOIRS D'UN CONDUCTEUR DE SONDAGES.

CHAPITRE IV. — DES DIFFÉRENTES APPLICATIONS DE LA SONDE.

Des sondes d'exploration pour l'étude des terrains. — De l'enfoncement des pilotis et de la pose des pieux pour les lignes télégraphiques. — Des puits d'amarres pour les ponts suspendus. — Des sondages sous-marins pour la destruction des récifs et l'étude des ports. — Des sondages horizontaux. — Des sondages des mineurs et de la recherche des gisements minéralogiques et métallifères. — Des puits d'aérage des mines. — Des puits absorbants pour dessèchements, ou absorption des eaux fétides provenant d'usines. — Des puits artésiens, ou recherche des eaux souterraines et de leur application.

CHAPITRE V. — DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE SONDAGES.

CHAPITRE VI. — DES DIFFÉRENTS INSTRUMENTS DE SONDAGE ET DE CEUX QUI SERVENT A LES METTRE EN ŒUVRE.

Outils accessoires. — Outils percuteurs. — Outils rodeurs. — Outils de nettoyage et de vidange. — Outils vérificateurs. — Outils rac-crocheurs. — Outils redresseurs. — Engins pour les sondages hori-zontaux. — Engins pour les sondages dans les angles de murs.

CHAPITRE VII. — TUBAGES.

CHAPITRE VIII. — INSTRUMENTS DE PRÉCISION.

Grandes boussoles. — Instruments de poche pour les voyageurs , tels que boussole, niveau à réflexion, lunette à micromètre et à genou pour la détermination des distances ; fabriqués par M. Gravet, rue Cassette, 44.

CHAPITRE IX. — PUIITS ARTÉSIENS.

Résultats obtenus dans les différentes localités de France et à l'étranger.

CHAPITRE X. — TARIFS DES SONDÉS.

Conditions générales de sondage.

CHAPITRE XI. — LÉGISLATION.

Loi du 24 avril 1810 sur les mines. — Loi du 17 juin 1840 sur le sel. — Ordonnance du 7 mars 1844 sur le sel. — Loi du 29 avril 1845 sur les irrigations.

M. Barotte donne lecture de la note suivante de M. Royer, *Sur les glaciers.*

La question des glaciers est très intéressante, et je ne suis point étonné qu'on y revienne souvent. Chaque nouveau fait observé est une pierre nouvelle apportée à l'édifice dont M. Agassiz a posé les fon-dements. L'existence des glaciers dans les Vosges est déjà évidente; les traces qu'ils y ont laissées ont une analogie parfaite avec les effets produits par les glaciers modernes des Alpes. On a fait moins d'observations dans le Jura, qui cependant présente aussi ses mo-raines. J'ai eu l'été dernier l'occasion d'en voir une qui sans doute n'a point échappé aux géologues qui s'occupent de cette partie si curieuse de la géologie ; je vais l'indiquer néanmoins à ceux que le hasard pourrait conduire de ce côté.

Quand on pénètre en Suisse par la route de Pontarlier, on remonte d'abord, à partir de cette ville, la rive droite du Doubs, que l'on quitte bientôt près du fort de Joux. Depuis ce point, on suit une longue gorge jusqu'au village de Jougne, situé sur la

frontière de la France, et où sont établis les bureaux de la douane. Arrivé à Jougne, le voyageur est frappé de la vue magnifique qui se développe tout à coup à ses yeux : une vallée profonde, encaissée dans des montagnes élevées, couvertes de noirs sapins, s'ouvre à ses pieds ; ses eaux se dirigent vers la Suisse et vont se jeter dans l'Orbe. Le village de Jougne est posé de la manière la plus pittoresque sur le revers de la montagne, et comme à cheval sur l'arête qui forme le passage des eaux. De Jougne, la route, tracée sur le flanc de la montagne, descend en faisant un long circuit vers le fond de la vallée. Sur cette pente on observe un terrain de transport composé de galets arrondis et de gravier calcaire. Il n'offre point de forme spéciale, si ce n'est au-dessous du village où l'on distingue quelques mamelons à peine sensibles, mais à une telle hauteur sur le talus qui supporte Jougne que l'on ne peut attribuer ce dépôt aux éléments actuels. A quelques centaines de mètres du village, le terrain dont je parle prend une forme décidée, qui ne laisse plus de doute sur son origine : une butte élevée occupe le centre de la vallée et paraît l'avoir barrée entièrement autrefois ; elle est également composée de terrain de transport ; c'est un gravier calcaire mélangé de galets qui sont généralement de petites dimensions. Je n'y ai pas vu de blocs ; on en trouve la raison dans la composition minéralogique de ce terrain, les roches calcaires résistant moins à la décomposition et à l'action destructive des agents atmosphériques que les roches siliceuses anciennes. Cette butte est évidemment une moraine terminale. Elle en a la forme et la disposition. Aujourd'hui elle n'appuie plus ses deux extrémités sur la base des montagnes voisines. Ces deux extrémités ont été en partie détruites par le ruisseau de Jougne qui s'écoule vers l'Orbe.

Je n'ai pu, faute de temps, remonter la vallée de Jougne ; je ne serais point étonné que d'autres moraines supérieures à celle que j'ai vue ne s'y présentassent. La nature uniquement calcaire de ce terrain de transport annonce que le glacier qui l'a produit descendait des sommités de cette vallée ; le grand glacier qui couvrait la plaine suisse, et qui a semé sur les côtes orientales du Jura ses galets et ses blocs de roches anciennes arrachés aux Alpes, n'a point pénétré dans la gorge de Jougne jusqu'au point dont je viens de parler, puisqu'on n'y rencontre aucun débris de ces roches anciennes ; mais quand on continue à descendre cette gorge, on ne tarde pas à trouver des galets et des blocs de ces roches alpines reposant sur les croupes calcaires du Jura et attestant ainsi la présence de l'action de ce grand glacier.

M. Damour fait la communication suivante :

Notice et analyses sur un hydrosilicate d'alumine trouvé à Montmorillon (Vienne), par MM. Damour et Salvétat.

Dans la séance du 4 décembre 1846 M. Michelin a déposé sur le bureau de la Société géologique des échantillons d'un minéral trouvé à Montmorillon (département de la Vienne), et envoyés par M. Mauduyt, membre de notre Société. Pour répondre au désir exprimé par notre confrère, nous avons, M. Salvétat et moi, étudié la composition de cette substance, et nous venons exposer aujourd'hui le résultat de nos essais.

Cette matière, très tendre au toucher, est complètement amorphe et se laisse facilement égrener entre les doigts. Sa couleur est le rose clair. Sans avoir les propriétés plastiques des argiles, elle se délaie dans l'eau avec une extrême facilité. Elle est infusible à la flamme du chalumeau, ainsi qu'à la plus haute température produite dans le four à porcelaine. Chauffée dans un tube, elle laisse dégager beaucoup d'eau, perd sa couleur rose et passe au blanc grisâtre. A une très haute température, elle prend la blancheur et l'aspect du biscuit de porcelaine, et acquiert assez de dureté pour rayer le verre.

Chauffée avec le sel de phosphore, elle se dissout partiellement et laisse un squelette volumineux de silice.

La dissolution bouillante de soude caustique lui enlève une petite quantité de silice.

L'acide chlorhydrique l'attaque partiellement sans produire aucune effervescence et dissout ainsi de la chaux, de la potasse, de l'alumine, de l'oxyde de fer et des traces d'oxyde de manganèse; la majeure partie de la matière reste insoluble et conserve sa couleur rose. Si, après ce traitement par l'acide, on fait bouillir la portion insoluble avec une lessive de soude caustique, on dissout une quantité considérable de silice. La partie insoluble dans la soude étant traitée de nouveau par l'acide chlorhydrique est décomposée complètement. La silice se sépare à l'état floconneux et la liqueur acide retient tout le reste de l'alumine.

L'acide sulfurique, chauffé jusqu'au degré où il commence à entrer en vapeur, décompose complètement le minéral. En versant de l'eau sur la matière ainsi attaquée, l'alumine et les autres bases sont dissoutes, et il se dépose de la silice pure. La dissolution séparée de la silice donne, avec l'ammoniaque, un précipité

d'alumine colorée par un peu d'oxyde de fer. La liqueur, séparée de l'alumine est troublée par l'oxalate d'ammoniaque. Le phosphate de soude y produit un précipité appréciable.

Un essai particulier, pour examiner si le minéral contenait de l'acide sulfurique nous a donné un résultat négatif.

Ces essais indiquent que ce minéral est essentiellement composé de silice, d'alumine et d'eau; il contient en outre de faibles quantités de chaux, de magnésie, de potasse, d'oxyde de fer et de manganèse. La couleur rose particulière à cette substance nous paraît devoir être attribuée à la présence d'une matière combustible.

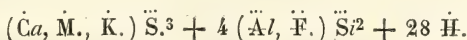
La moyenne de quatre analyses, exécutées par M. Salvétat par des procédés différents, présente les résultats qui suivent :

		Oxygène.	Rapport.
Silice.	0,4940 —	0,2566 —	33
Alumine.	0,1970 — 0,0920	0,0992 —	12
Oxyde ferrique.	0,0080 — 0,0072		
Chaux.	0,0150 — 0,0042	0,0077 —	4
Potasse.	0,0150 — 0,0025		
Soude (traces).			
Magnésie.	0,0027 — 0,0010	0,2282 —	28
Eau.	0,2567 —		
	0,9884		

Trois analyses, faites par M. Damour, ont donné en moyenne :

		Oxygène.	Rapport.
Silice.	0,5004 —	0,2599 —	33
Alumine.	0,2016 — 0,0942	0,0963 —	12
Oxyde ferrique.	0,0068 — 0,0024		
Chaux.	0,0146 — 0,0044	0,0074 —	4
Magnésie.	0,0023 — 0,0009		
Potasse.	0,0127 — 0,0021		
Ox. de manganèse.	(traces).	0,2344 —	28
Eau.	0,2600 —		
	0,9984		

L'oxygène des bases à 4 atome, comparé à l'oxygène des bases à 3 atomes, de l'eau et de la silice, présente à peu près les rapports : 1 : 12 : 28 : 33, ce qui permet de construire la formule :

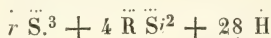


En calculant les proportions relatives des divers éléments de ce

minéral, d'après la formule qui précède, et, pour simplifier, remplaçant la magnésie et la potasse par une quantité équivalente de chaux, on trouve les nombres suivants :

		En 10000°.	Oxygène.
11 atomes de silice.	635041	= 0,5111	— 0,2655
4 atomes d'alumine.	256932	= 0,2068	— 0,0965
4 atome de chaux.	35602	= 0,0287	— 0,0080
28 atomes d'eau.	314944	= 0,2534	— 0,2252
	4242519	1,0000	

On voit que ces nombres se rapprochent beaucoup de ceux qu'on obtient par l'analyse, nous pensons donc que la formule générale :



est celle qui permet de reproduire le mieux les résultats de nos analyses de ce minéral.

M. Berthier a analysé une substance trouvée à Confolens (Charente), qui lui a présenté la composition suivante :

	Oxygène.
Silice. . . .	0,5750 — 0,2990
Alumine. . .	0,2080 — 0,0970
Chaux. . . .	0,0240 — 0,0070
Magnésie. . .	0,0240 — 0,0090
Eau.	0,4540 — 0,1370
	0,9850

M. Adam a bien voulu permettre à l'un de nous d'examiner, dans sa collection, un échantillon du minéral de Confolens; les caractères extérieurs de cet échantillon sont identiques à ceux de la substance envoyée par M. Mauduyt. Il est très probable que ces matières constituent une seule et même espèce.

Les différences qu'on remarque entre l'analyse de M. Berthier et celles que nous venons d'exposer tiennent à la méthode suivie pour effectuer le dosage de l'eau. Dans l'analyse de M. Berthier, le minéral avait été desséché préalablement à la température de 100°; cette matière avait dû perdre ainsi une quantité d'eau considérable; nous en avons acquis la certitude en opérant de la même manière sur le minéral de Montmorillon.

1 gramme de cette matière, conservé pendant quelques jours à la température de + 45° dans un vase fermé, puis chauffé

jusqu'à 100°, a perdu.	0 ^{gr} ,1055
Chauffé au rouge, il a perdu.	0 ^{gr} ,1512
En tout.	0 ^{gr} ,2567

Les quantités relatives des autres éléments doivent par conséquent varier selon qu'on opère sur la matière plus ou moins privée d'eau. Craignant d'altérer la constitution intime du minéral en l'exposant à la température de 100°, nous avons préféré, dans nos analyses, effectuer le dosage de l'eau et des autres éléments, en prenant pour point de départ la température de 15°, dans une atmosphère dont l'état hygrométrique ne pouvait être affecté de variations sensibles.

Le minéral de Montmorillon et celui de Confolens nous paraissent, d'après l'ensemble de leur caractère, se rapporter à la famille des Halloysites; leur composition se rapproche aussi beaucoup de celle du minéral décrit sous le nom de *Lenzinite* de Saint-Sever; il nous paraît prudent de les classer sous le nom d'*Halloysite* jusqu'à ce que les analyses qui seront faites sur les matières analogues aient permis d'établir entre elles des divisions bien déterminées.

M. Delanoue prie M. Damour de vouloir bien lui dire s'il s'est bien rendu compte de la cause de la coloration en rose de l'*Halloysite* qu'il a analysée.

La Quincyte blanchit au feu, elle doit évidemment sa couleur à une substance organique, et l'*Halloysite*, simplement rosée, devient aussi très blanche par la calcination; mais lorsqu'elle est d'un rouge foncé, comme cela arrive quelquefois, elle prend au feu une teinte bleuâtre dont il se propose d'étudier la nature.

M. Damour répond que celle qu'il a analysée a été soumise au feu de porcelaine et est devenue blanche; que la coloration qu'elle offre lui paraît due à la présence d'une matière combustible plutôt qu'à toute autre cause.

M. d'Omalus demande si une quantité de matière colorante si petite peut être reconnue par l'analyse.

M. Delanoue répond que moins d'un millième de cobalt ou de manganèse donne des réactions très sensibles. Il reconnaît, du reste, la substance en question comme parfaitement identique avec les *Halloysites* blanches, vertes ou roses, qui caracté-

risent, avec le maganèse et la nontronite, l'oolite inférieure du versant S.-O. du Limousin.

M. Virlet ajoute qu'il a observé dans les tufs ponceux modifiés de l'île de Milo, lesquels appartiennent à la formation tertiaire subapennine, des bancs d'une roche savonneuse d'un gris verdâtre assez remarquable, et que M. Sauvage, qui a aussi visité cette île de l'archipel grec en 1846, vient de reconnaître comme appartenant aux Halloysites. En effet, sa composition étant :

			Oxygène.	
Eau.	42,70	—	44,20	— 2
Silice.	34,60	—	46,80	— 3
Alumine.	23,20	—	40,70	— 2
Magnésie et alcalis. . .	3,20			
Quartz.	29,30			

conduit à la formule $Si^3 Al^2 Ag^2$.

« La rencontre de cette roche dans les terrains de Milo, dit M. Sauvage (1), offre de l'intérêt. Elle dérive des roches du groupe feldspathique par un mode d'action qui s'est exercé sur de grandes étendues. L'Halloysite de Milo est la même que celle des terrains tertiaires de la Champagne, où nous avons rencontré ce minéral constituant les principales assises de l'argile plastique. »

M. Frapolli lit le Mémoire suivant de M. Scheerer, dont il a fait la traduction de l'allemand à la demande de l'auteur.

Discussion sur la nature plutonique du granite et des silicates cristallins qui s'y rallient, par M. Th. Scheerer (traduit de l'allemand par M. L. Frapolli).

J'ai publié dans les *Annales de Poggendorff* (t. LXVIII, p. 349) un mémoire sur une espèce particulière d'isomorphisme, l'*isomorphisme polymère*, qui joue un rôle très étendu dans le règne minéral. Le mémoire dont M. Berzélius a communiqué un résumé, dans la séance du 11 février 1846 de l'Académie de Stockholm, sert en quelque sorte de base et d'introduction au travail actuel; c'est pourquoi je crois essentiel d'en indiquer ici d'abord les conclusions principales.

(1) *Ann. des mines*, 4^e série, t. X, p. 77.

PREMIÈRE PARTIE. — *Quelques mots sur l'isomorphisme polymère.*

Dans le gneiss primitif amphibolique du pays aux environs de Kragerôc, petite ville du littoral de la Norvège méridionale, on rencontre de nombreuses parties de granite et de quartz caractérisées par la présence de plusieurs minéraux. C'est dans le journal de Leonhard qu'on trouvera une description détaillée du gisement de ces minéraux, que j'ai publiée il y a quelque temps. Ils se présentent en petites masses disséminées irrégulièrement. Le dichroïte (1) et un autre minéral inconnu jusqu'à ce jour, et que j'ai nommé *aspasiolite*, sont de leur nombre.

Ces deux minéraux ne diffèrent pas seulement par leur composition chimique, mais en même temps par leurs caractères extérieurs. Quoique l'aspasiolite possède absolument la même forme cristalline (2) que le dichroïte, elle en diffère cependant par sa composition chimique, par sa couleur, sa dureté, son éclat et son poids spécifique, ainsi qu'on peut s'en convaincre par le tableau suivant :

	DICHRÔÏTE.		ASPASIOLITE.
	<i>Composition.</i>		
Silice.	50,44		50,40
Alumine.	32,95		32,38
Magnésie.	42,76		8,04
Chaux.	4,42		traces
Protoxyde de fer.	0,96		2,34
— de manganèse.	traces		traces
Eau.	4,02		6,73
	99,25		99,86

Couleur.

Tantôt incolore, tantôt une légère couleur d'améthiste ou bleu clair, quelquefois brunâtre.

Nuancé en vert d'huile d'asperge, de poireau, rarement passant du brunâtre au rouge brun.

(1) Dans la traduction des noms allemands des minéraux, nous avons suivi dans ce Mémoire la nomenclature le plus généralement répandue et consacrée tout nouvellement par le grand ouvrage de M. Dufrénoy. C'est pourquoi, même dans ce cas spécial, nous substituons à la dénomination de cordiérîte, dont s'est servi l'auteur, celle de dichroïte qui a le mérite d'être plus ancienne, plus connue, et d'indiquer une propriété. (*Note du traducteur.*)

(2) L'aspasiolite se trouve rarement cristallisée; cependant M. Scheerer en possède de beaux prismes hexagonaux réguliers. (*Note du traducteur.*)

Dureté (1).

7 à 7 1/2 (le quartz est quelquefois un peu plus dur).	3 à 4 (entre le spath calcaire et la chaux fluatée).
--	--

Éclat.

Vitreux.

Gras sur les faces des cristaux, peu brillant et même mat dans la cassure.
--

Densité.

2,60

2,764

On peut se faire une idée exacte des différences extérieures de ces deux minéraux par la comparaison du dichroïte avec la serpentine; car on ne distingue celle-ci de l'aspasiolite compacte que par l'analyse. Or, pour expliquer l'identité de forme que présentent ces deux corps d'une composition si différente, nous sommes forcés d'avoir recours aux lois de l'isomorphisme. Mais quelles sont dans ce cas les matières isomorphes?

En comparant les compositions du dichroïte et de l'aspasiolite, on peut se convaincre tout d'abord que, par rapport aux proportions de silice et d'alumine, elles sont tout à fait les mêmes, et qu'il n'y existe qu'une différence, mais une différence essentielle, savoir : que le dichroïte, en dehors de ces substances, ne contient que de la chaux, de la magnésie et du protoxyde de fer, tandis que dans l'aspasiolite on trouve en même temps une quantité considérable d'eau. On ne peut donc se rendre compte de l'inégalité de cristallisation de ces deux minéraux qu'en admettant que l'eau est susceptible de se comporter comme base isomorphe à l'égard de la magnésie, de l'oxyde de fer, etc. Cette explication devient encore plus vraisemblable, si l'on considère qu'en regardant l'eau comme étant à l'état d'hydrate, la composition de l'aspasiolite ne saurait conduire à aucune formule admissible.

Or, ainsi que le calcul l'a démontré, lorsque l'eau remplace la magnésie qui manque à l'aspasiolite, ce ne peut être un atome d'eau qui se substitue à un atome de magnésie, mais trois atomes d'H remplaceront exactement un atome de magnésie. Ces trois atomes d'eau représentent un atome d'eau basique que je désignerai par

(H)

(1) Suivant l'échelle de Mohs. (Note du traducteur.)

J'indiquerai également par

(R)

une molécule dans laquelle entre une base monoxygénée et qui renferme une proportion plus ou moins grande d'eau basique. De cette manière, tandis que la formule du dichroïte est $= \text{R}^3 \ddot{\text{Si}}^2 + 3 \text{R} \ddot{\text{Si}}$, celle de l'aspasiolite sera $= (\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}^2 + 3 \text{R} \ddot{\text{Si}}$; cette espèce d'isomorphisme résultant de ces différents rapports entre le dichroïte et l'aspasiolite ne se borne pas à ces minéraux; mais, ainsi que mes autres recherches l'ont confirmé, elle joue un rôle très étendu dans le règne anorganique. Dans ce résumé je me bornerai à développer ce fait par quelques exemples.

Jusqu'à présent on n'avait pas réussi à trouver pour la serpentine une formule chimique qui représentât exactement la composition moyenne obtenue par un assez grand nombre d'analyses. En considérant que treize analyses de serpentine faites par onze chimistes donnent une quantité d'eau variable entre 12,27 et 21,00 pour 100, on concevra que cette question est difficile sinon impossible à résoudre. De quelle manière une seule et même formule aurait-elle donc pu représenter exactement la composition d'un minéral dans lequel la quantité d'eau est si inconstante? La solution de ce problème n'est devenue possible qu'autant qu'on prend notre nouveau point de vue comme point de départ. L'eau de la serpentine n'est pas de l'eau à l'état d'hydrate, mais elle *fait fonction de base* et remplace une portion plus ou moins grande de magnésie. En calculant les proportions d'oxygène de ces treize analyses de serpentine, et en comprenant dans ce calcul un tiers de l'oxygène de l'eau (parce que $3 \text{H} = (\text{H})$), on trouve que *dans toutes les serpentines la proportion entre la quantité d'oxygène de la silice et celle des bases est très près de 1 : 1*; et l'on obtient des treize analyses la moyenne suivante :

$$\begin{array}{rcl} \ddot{\text{Si}} & & (\text{R}) \\ 21,39 & : & 20,62 \\ = 100 & : & 96,4 \end{array}$$

Il n'y a donc, entre ces deux proportions d'oxygène, qu'une faible différence de 3,6 pour 100; mais cette petite différence, qu'on pourrait même attribuer avec raison à diverses circonstances accidentelles, perd beaucoup de son importance si l'on remplace dans le calcul le poids atomique de la magnésie qui, selon

Berzélius, est = 258,14 par la valeur que j'ai obtenue d'après mes recherches. Suivant mes analyses, le poids atomique de la magnésie est = 250,97. En appliquant ce poids atomique aux proportions de l'oxygène dans les serpentines, le rapport moyen indiqué ci-dessus se réduira à :

$$\begin{array}{rcl} \ddot{\text{Si}} & & (\text{R}) \\ 24,39 & : & 24,09 \\ = 100 & : & 98,6 \end{array}$$

La petite différence de 3,6 pour 100 est donc réduite par l'introduction du nouveau poids atomique à 1,4 pour 100, et il est prouvé, aussi exactement que l'analyse chimique a pu l'établir dans cette circonstance, que la proportion d'oxygène contenue dans la silice et celle contenue dans les autres bases, l'eau basique non exceptée, sont égales. D'où il résulte, pour la serpentine, la formule extrêmement simple que voici :

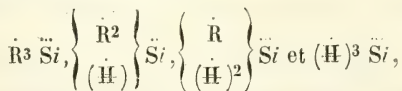


Et, si nous supposons que toute l'eau basique de la serpentine soit remplacée par de la magnésie, cette formule se réduira aux termes suivants :



c'est-à-dire que ce sera celle de l'olivine. Ces deux minéraux, la serpentine et l'olivine, doivent avoir la même forme cristalline. C'est, en effet, ce qui a lieu ; car c'est un fait connu depuis longtemps, mais dont on ne parvenait pas à se rendre compte, que la serpentine cristallisée, telle au moins qu'elle se présente en Norvège et dans l'Amérique du nord, a une forme identique avec l'olivine. Voilà donc une seconde preuve bien frappante en faveur de notre nouvelle espèce d'isomorphisme. Le dichroïte est à l'aspasiolite ce que l'olivine est à la serpentine (1).

(1) Pourquoi la magnésie et les différentes bases isomorphes qui sont dans la serpentine et dans les autres minéraux contenant de l'eau basique ne sont-elles pas remplacées par celle-ci d'atome à atome ? Cela s'explique d'une manière très simple, car il est évident que des combinaisons comme les suivantes :



présentent nécessairement les mêmes formes cristallines. En conser-

Il résulte du calcul des proportions de l'oxygène de plus d'une centaine de minéraux qui contiennent de l'eau et que j'ai examinés avec soin, que presque tous, dès le moment que l'on considère l'eau qu'ils renferment comme étant de l'eau basique, donnent des formules plus simples, plus harmoniques et plus en accord avec la composition fournie par l'analyse chimique, ce que l'on n'obtient pas en admettant que cette eau s'y trouve à l'état d'hydrate (1). De cette manière les formules deviennent extrêmement simples; les minéraux serpentineux nous en fournissent entre autres un exemple bien intéressant. J'ai mis dans le tableau suivant les anciennes formules en regard avec les nouvelles :

	Formules anciennes.	Formules nouvelles.
Serpentine (2).	$2 \text{ Mg}^3 \ddot{\text{Si}}^2 + 3 \text{ Mg} \ddot{\text{H}}^2$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Gymnite	$\text{Mg} \ddot{\text{Si}} + \text{Mg} \ddot{\text{H}}^3$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Villarsite.	$4 \left\{ \begin{smallmatrix} \text{Mg}^3 \\ \text{Fe}^3 \end{smallmatrix} \right\} \ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Dermatine	$\text{Mg}^2 \ddot{\text{Si}} + 4 \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Chrysolite.	$3 (\text{Mg}^2 \ddot{\text{Si}} + \ddot{\text{H}}) + \text{Mg} \ddot{\text{H}}^2$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Chlorophaïte.	$\text{Fe} \ddot{\text{Si}} + 6 \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}$
Picrophyllite.	$\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Mg}^3 \\ \text{Fe}^3 \end{smallmatrix} \right\} \ddot{\text{Si}} + 2 \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^2 \ddot{\text{Si}}$
Aphrodite.	$4 \text{ Mg}^3 \ddot{\text{Si}}^2 + 9 \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^2 \ddot{\text{Si}}$
Spadaïte.	$4 \text{ Mg} \ddot{\text{Si}} + \text{Mg} \ddot{\text{H}}^4$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}^2$
Picrosmine.	$\text{Mg}^3 \ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}^2$
Monradite.	$\left\{ \begin{smallmatrix} 4 \text{ Mg} \\ \text{Fe}^3 \end{smallmatrix} \right\} \ddot{\text{Si}}^2 + 3 \ddot{\text{H}}$	$(\text{R})^3 \ddot{\text{Si}}^2$

vant une seule et même forme, elles peuvent donc se trouver mélangées entre elles dans toutes les proportions possibles, et, par conséquent, avec des quantités d'eau très variables.

(1) Les zéolithes en sont exclues. Dans ce genre de minéraux, l'eau ne paraît pas faire fonction de *base*, mais se trouver véritablement à l'état d'hydrate; ce qui s'explique par le fait que toutes les zéolithes sont caractérisées par l'absence complète de magnésie, c'est-à-dire par l'absence d'une base que l'eau basique remplace de préférence.

(2) L'ancienne formule de la serpentine n'est exacte que pour des serpentines contenant 43 à 44 p. 100 d'eau.

Formules anciennes.

Formules nouvelles.

Talc (1). $Mg^6 \ddot{Si}^5$ $(R)^3 \ddot{Si}^2$ Magnésite. $Mg \ddot{Si} + H$ $(R)^3 \ddot{Si}^2$

Les formules des minéraux micacés et chlorités et celles de certains phosphates et arsénates qui renferment de l'eau, et qui presque toutes n'avaient pu jusqu'ici être considérées ni comme simples ni comme symétriques entre elles, ont acquis à un très haut degré ces propriétés. On pourra facilement se rendre compte de cette simplification générale des formules lorsqu'on verra, par exemple, que :

7 minéraux obtiennent la formule de la serpentine.

4 minéraux celle du grenat.

7 id. de l'épidote.

8 id. de l'augite.

6 id. du vivianite du Cornouaille.

4 id. id. de Bodenmais.

On peut donc exprimer la composition de 36 minéraux divers, contenant de l'eau, par six formules très simples.

De l'ensemble de nos recherches il résulte : qu'un atome de magnésie, ou de protoxyde de fer, de manganèse, de cobalt, de nickel et d'oxyde de zinc, peut être remplacé, d'après les lois de l'isomorphisme, par trois atomes d'eau, et qu'un atome d'oxyde de cuivre l'est par deux atomes. Ces faits nous dévoilent une nouvelle espèce d'isomorphisme que j'appelle *isomorphisme polymère* par antithèse de l'*isomorphisme monomère* connu jusqu'à ce jour. Cette loi devra bientôt s'étendre très probablement à un nombre bien plus considérable de corps.

J'ai essayé, par des réflexions plus approfondies sur la nature des divers carbonates de magnésie et du carbonate de chaux qui contiennent de l'eau, de démontrer que l'isomorphisme polymère joue un grand rôle, non seulement dans l'atelier gigantesque de la nature, mais aussi dans nos laboratoires. Sous ce rapport, je renverrai à deux mémoires qui ont paru dans les *Annales de Poggendorff*, et qui se rattachent d'une manière directe à celui dont nous donnons un résumé.

Au surplus, la présence de l'eau basique dans le règne minéral nous fournit des éclaircissements pleins d'intérêt sur la formation

(1) L'eau qu'on trouve dans le talc est tout à fait négligée dans la formule ancienne.

de certaines soi-disant pseudomorphoses, ainsi que sur différents phénomènes lithologiques et géognostiques dont j'ai parlé avec plus de détail dans le mémoire indiqué.

Qu'il me soit permis, en terminant, de rappeler un fait qui, bien qu'en rapport avec l'isomorphisme polymère, n'a cependant aucune influence sur ce dernier, mais qui est d'une grande importance en raison de toutes les conséquences qu'on peut en tirer. Il peut se présenter les questions suivantes : L'eau basique se trouvait-elle à l'origine dans les nombreux minéraux qui la contiennent, ou bien y a-t-elle pénétré après coup par suite d'influences postérieures ? J'ai exposé mes idées sur cette question dans différents mémoires insérés dans les *Annales de Poggendorff*, et dans le journal de Leonhard et Bronn, où j'ai fait mention de quelques faits qui concernent l'aspasiolite et la serpentine. Je me bornerai donc ici à l'énonciation de quelques remarques générales.

Personne ne peut songer à attribuer la proportion d'eau de ces minéraux à des influences atmosphériques, puisqu'une telle influence dans la plupart des cas aurait été impossible, et qu'en supposant qu'elle eût pu se manifester dans quelques circonstances, cela aurait évidemment donné en même temps naissance à d'autres effets. Si donc on n'admet pas, ainsi que j'ose le croire, l'hypothèse sans fondement, que des substances telles que la magnésie, le protoxyde de fer, l'eau, etc., peuvent se promener arbitrairement à travers la masse d'une roche indécomposée et parfaitement solide et compacte, comme serait le quartz, par exemple, nous sommes conduit à nous rapprocher de l'opinion que l'eau, dans le cas qui nous occupe, serait *primitive*.

DEUXIÈME PARTIE. — *Sur la nature plutonique du granite et des silicates cristallins qui s'y rallient.*

§ I. *Quels sont les faits qui peuvent servir de base à une théorie des granites ?* L'opinion de ceux qui regardent le granite comme ayant une origine plutonique se fonde d'abord sur les rapports de contact de cette roche et trouve une confirmation vraisemblable dans son analyse avec quelques autres roches de nature granitique qui sont de véritables formations volcaniques. Lorsque les masses de granite se trouvent en contact avec d'autres roches, et surtout avec des dépôts stratifiés, ceux-ci paraissent avoir subi fréquemment des altérations, avoir été métamorphosés, c'est-à-dire qu'ils ont acquis une texture plus ou moins cristalline, qu'il se mani-

feste quelquefois une augmentation de leur richesse en silice , et qu'aux limites du granite elles renferment bien souvent certains minéraux qu'on désigne sous le nom commun de *produits de contact*. Ces phénomènes qu'on peut résumer dans la proposition suivante , *la structure cristalline du granite dépasse , dans certaines circonstances , les limites de cette roche*, suffisent-ils pour faire prononcer d'une manière incontestable que le granite a été primitivement dans un état de fusion ignée ? Aucun géologue , je pense , n'osera l'affirmer sans restriction. Quant à l'analogie extérieure de quelques produits volcaniques récents avec les roches granitiques , elle ne fournit pas non plus de preuves sérieuses ; car cette analogie n'est pas bien grande en général , et d'ailleurs les progrès de la chimie nous ont fait connaître un nombre considérable d'exemples qui prouvent que des combinaisons chimiques d'une composition tout à fait identique , ayant la plus grande ressemblance dans leurs caractères extérieurs , peuvent se former par des voies tout à fait différentes. Ainsi , les deux arguments principaux que nous avons indiqués comme étant le fondement des théories qui admettent la formation plutonienne du granite sont loin d'avoir une portée absolue ; ils ne peuvent servir qu'à augmenter les données probables dans le cas où l'on a été conduit par d'autres considérations d'un ordre supérieur à admettre la nature plutonique du granite.

Mais quels sont ces faits plus essentiels , capables de nous éclairer à cet égard ? Si , comme nous venons de le prouver , ce ne sont pas les phénomènes de contact , on devra en chercher la raison exclusivement dans la nature de la masse granitique elle-même. En effet , nous ne saurions trouver à cette question aucune réponse plus directe , plus exacte , ou plus sûre , qu'en nous adressant au granite lui-même , c'est-à-dire en étudiant sa constitution chimique et mécanique. Ces recherches nous montreront si un mélange de minéraux , tel que celui du granite et des silicates cristallins de la même famille , peut être le résultat du refroidissement successif d'une masse qui a été en fusion ignée.

Ce n'est surtout que dans ces derniers temps que , poussé par le désir d'arriver à déchiffrer d'une manière définitive le mystère de la formation du granite , on a essayé de parvenir à une solution en suivant cette loi directe. On ne saurait cependant en faire un reproche aux géologues anciens ; car aussi longtemps que les sciences chimiques et physiques ont été dans l'enfance , ce genre de recherches n'aurait conduit à aucun résultat certain. Bien moins excusables sont , au contraire , ces géologues qui , de nos

jours, ne s'attachent exclusivement qu'aux conditions extérieures du granite et refusent toute espèce d'attention à sa structure intime. Celui qui se borne à ne regarder le granite que comme une roche cristalline composée de feldspath, de quartz et de mica, s'arrête précisément au point où devraient commencer les recherches les plus importantes.

L'étude de la structure intime du granite, au point de vue chimique et physique, forme le sujet principal de ce mémoire. Avant d'entrer en matière, je crois utile de faire mention des travaux qu'on a faits antérieurement et qui se rattachent plus ou moins à notre sujet.

§ 2. *Revue historique.*—Déjà aux temps de Breislak on avait commencé à tirer de la nature intime de la masse granitique elle-même des arguments fort concluants contre l'origine plutonique de cette roche. Breislak les cite dans sa Géologie (1) en disant :

« Une autre difficulté qui s'élève contre l'origine ignée du granite est celle qu'on déduit des divers degrés de fusibilité dont ses parties sont douées. Les quartz ne sont fusibles qu'à un très grand degré de chaleur, et plus grand que celui de nos fourneaux; les micas se fondent, mais avec quelque difficulté; les feldspaths sont assez fusibles. Dans l'échelle de la fusibilité des corps, quelle différence entre le quartz et le fluate calcaire! Si donc les granites se sont cristallisés par le refroidissement, leurs parties auraient dû se séparer et se cristalliser à des époques différentes correspondant à leurs divers degrés de fusibilité, et elles ne pourraient jamais se trouver unies et adhérentes entre elles, de manière à présenter une formation contemporaine. De plus, il semble quelquefois que la substance la plus fusible se soit cristallisée avant celle qui l'était moins et dont elle a été enveloppée. »

Ces objections contre la nature plutonique du granite étant plus tard tombées dans un oubli complet, M. Fuchs appela de nouveau l'attention des savants sur ces phénomènes. Dans la séance de l'Académie de Munich, du 28 août 1837, en parlant des théories de la terre (2), il s'exprime de la manière suivante :

« On a vu souvent se former dans nos fourneaux des cristaux analogues à ceux des minéraux naturels, ce dont les plutonistes se sont emparés à l'appui de leur théorie, mais il n'en est cependant jamais résulté un mélange semblable à celui du granite. Si

(1) *Traité sur la structure du globe*, Paris, 1822, t. I, p. 356.

(2) *Sur les théories de la terre*, etc., par le Dr Fuchs. Munich, 1844.

» celui-ci, qui est composé, comme chacun le sait, de quartz, de
» feldspath et de mica, avait été en fusion ignée, le quartz au-
» rait dû se cristalliser et se précipiter le premier, puis, après un
» temps assez long, aurait eu lieu la cristallisation du feldspath,
» et enfin celle du mica, suivant leurs divers degrés de fusibilité
» et leur point de solidification. Dans de pareilles circonstances
» il aurait été impossible que les éléments du granite pussent se
» trouver aussi intimement mêlés entre eux qu'ils se présentent
» dans cette roche, qui renferme même souvent certains miné-
» raux encore moins fusibles que le quartz, ainsi que le corindon,
» le zircon, etc., ou d'autres beaucoup plus fusibles, comme le
» feldspath, le grenat, l'amphibole, la lépidolite, la tourma-
» line, etc. Je le répète, cela est à mes yeux complètement im-
» possible. »

Je touchai le sol de la Norvège en 1833. J'étais alors tout pénétré des théories plutoniennes les plus orthodoxes. Les objections de M. Fuchs n'avaient pas encore paru; je ne connaissais point celles de Breislak. Et pourtant mon séjour prolongé dans le pays conduisait mon esprit à s'occuper d'une manière plus exacte des roches granitiques, qui occupent une si grande place parmi les formations de cette contrée. L'ébranlement complet de mes premières croyances a été le résultat de cette étude. J'exposai pour la première fois mes nouvelles opinions, en 1842, dans une séance de la Société des naturalistes scandinaves, à Stockholm, où j'ai eu occasion de m'exprimer de la manière suivante (1) :

« Les parties du granite qui, dans l'île d'Hitterøe, prennent
» l'aspect de filons, sont du plus haut intérêt en raison surtout
» des éclaircissements qu'elles nous offrent sur la formation suc-
» cessive de plusieurs des éléments qui les composent. Car ici l'on
» peut de toutes parts reconnaître avec exactitude que le feldspath
» s'est cristallisé ou mieux s'est endurci avant le mica et le quartz.
» Le premier commence par s'approprier toute la place nécessaire
» au développement complet de ses cristaux; les lames de mica
» sont plissées et retournées à son contact; elles s'inclinent pour
» ainsi dire devant sa puissance, tandis que le quartz amorphe,
» ainsi qu'il est facile de s'en convaincre, en est réduit à ne rem-
» plir que les espaces vides qui sont encore restés après les
» empiétements de ses antagonistes. Le granite graphique qu'on y

(1) Première continuation des recherches sur la gadolinite, l'allanite et les minéraux de la même famille. — *Ann. de Poggendorff*, t. LVI, p. 479.

» rencontre quelquefois nous fournit un tableau bien instructif
 » de la lutte de deux substances mêlées entre elles dans une masse
 » liquide et dont chacune prétend au droit de priorité dans la
 » cristallisation. Dans cette lutte, c'est le feldspath qui a toujours
 » le dessus. Malgré la présence de nombreuses parties de quartz
 » dans son intérieur, il parvient à développer complètement ses
 » grands cristaux aux arêtes bien achevées, et qui ont quelquefois
 » des dimensions d'un pied cube. C'est à grand' peine si le quartz,
 » pressé de toutes parts, parvient à atteindre des formes qui aient
 » une pâle ressemblance avec des cristaux comprimés et retor-
 » dus. Est-ce qu'il peut y avoir des faits plus évidents pour prou-
 » ver que le quartz était encore liquide ou du moins encore
 » pâteux, alors que le feldspath était déjà en voie de cristalli-
 » sation? C'est là un fait d'une haute importance et qui mérite de
 » fixer l'attention de tous les géologues. Par les théories pluto-
 » niennes ordinaires, d'après lesquelles toutes les roches sont pour
 » nous des corps qui ont été à l'origine fondus dans le feu univer-
 » sel, ce fait est inexplicable; car la silice se fond, comme tout le
 » monde le sait, plus difficilement, et doit par conséquent se
 » solidifier bien avant un silicate de magnésie et de potasse.
 » D'après cette loi, si les théories du simple refroidissement
 » étaient vraies, on devrait donc trouver partout dans les roches
 » cristallines les cristaux de quartz bien développés et le
 » feldspath écrasé et réduit à ne servir que de remplissage. Mais
 » comme c'est précisément le contraire qui a lieu, nous obtenons
 » une preuve frappante de la vérité suivante, qui ne saurait être
 » trop appréciée : *que dans la formation des roches primitives le*
 » *feu n'a pas produit à lui tout seul toutes sortes de prodiges*, et
 » que l'idée la plus juste que l'on peut encore se former sur l'ori-
 » gine de ces roches est celle qui attribuerait aux deux éléments,
 » à l'eau et au feu, une égale puissance créatrice. »

Plus tard, dans un Mémoire imprimé dans la *Gea Norvegica* (1),
 j'ai de nouveau exposé avec de plus grands détails mes objections
 contre la nature purement plutonique du granite :

« Il est à peine nécessaire de dire, écrivais-je alors, que l'arran-
 » gement des minéraux accessoires dans les granites stratifiés con-
 » duit aux mêmes conclusions que celles qu'on tire de l'arrange-
 » ment du quartz et du feldspath. Les rapports de structure de ces
 » deux minéraux en contact avec l'orthite, la malacone et l'ytter-

(1) *Sur la norite et les filons de granite riches en minéraux qui*
sont renfermés dans cette roche dans l'île de l'Hilleroë.

» spath, sont tout à fait identiques avec l'arrangement cristallin
» d'une masse saline qui se serait solidifiée autour d'un corps
» préexistant. Il en résulte donc forcément que le minéral ren-
» fermé est toujours le plus ancien, c'est-à-dire qu'il a cristallisé
» avant la masse rayonnée qui l'entoure. On peut donc conclure avec
» certitude que la cristallisation des minéraux dont nous parlons
» s'est effectuée dans l'ordre chronologique suivant : 1° l'orthite et
» probablement presque en même temps la gadolinite ; 2° la mala-
» cone et l'ytterspath ; 3° le polyklas et le feldspath ; 4° le quartz. S'il
» était vrai que ces minéraux, dans leur état primitif, ont tout
» simplement été en fusion ignée, et qu'ils ont pris, sous l'influence
» d'un refroidissement successif, leur forme actuelle, ils devraient
» être arrangés suivant l'ordre de leur fusibilité, et celui qui se fond
» le plus difficilement aurait dû cristalliser le premier. » Dans ce
dernier cas, la série prendrait l'ordre suivant : 1° le quartz ; 2° la
malacone, le polyklas et l'ytterspath qui, certes, n'ont pas le
même degré de fusibilité, mais qui fondent tous plus facilement
que la silice pure ; 3° la gadolinite ; 4° le feldspath ; 5° l'orthite.
Si nous comparons maintenant ces deux séries, nous nous aper-
cevons, au premier coup d'œil, que non seulement elles n'ont pas
la moindre analogie entre elles, mais que l'ordre de disposition
des minéraux, dans l'une et dans l'autre, est presque inverse.
M. F. de Boucheporn arrive, par l'examen de la disposition des
éléments du granite, à des résultats semblables. « La disposition
» des éléments du granite dont nous parlons, dit-il dans ses
» *Études sur l'histoire de la terre* (1), souvent sensible dans le
» granite le plus commun, l'est surtout dans le granite à grands
» cristaux de feldspath, comme il en abonde dans presque tous
» les massifs granitiques considérables ; elle l'est dans le granite
» nommé graphique, où le quartz prend si régulièrement l'em-
» preinte rentrante des angles saillants du feldspath ; elle l'est
» plus distinctement encore dans le granite à tourmalines et à gre-
» nats, où les éléments sont bien mieux tranchés par la couleur
» et par la forme. Nulle part on ne rencontre dans ces variétés
» un *cristal* de quartz enchâssé dans la pâte feldspathique ; mais
» qui n'a remarqué les cristaux de tourmaline aux faces polies et
» brillantes, les prismes du feldspath, le grenat multiface, enfin
» les feuilletés mêmes du mica enchâssés dans du quartz hyalin ou
» dans une pâte quartzo-feldspathique, qui s'est moulée sur eux
» de manière à porter, par la plus parfaite exactitude, l'empreinte

(1) Paris, 1844, p. 216.

» ou creux de leur forme régulière ? C'est donc un fait général ,
 » caractéristique de la structure du granite , que les substances
 » les plus fusibles y sont le plus souvent enchâssées et forment em-
 » preinte dans la moins fusible de toutes. Voilà , certes, un grand
 » fait ; sans aucun doute , un utile enseignement y est renfermé ,
 » et si l'on veut trouver quelque lumière sur l'origine du granite ;
 » c'est là qu'il faudra la chercher. »

Enfin , M. Schafhäult , dans sa discussion des nouvelles hypothèses géologiques et de leurs rapports avec l'histoire naturelle (1), s'est élevé contre la nature plutonique du granite , en lui opposant plusieurs objections de la même nature. Ne possédant pas ce mémoire , je suis obligé , malgré moi , d'y renvoyer le lecteur.

§ 3. *Tableau des arguments principaux que la constitution chimique et mécanique du granite nous fournit contre les opinions qui lui attribuent une origine purement ignée.*—1° *L'existence du quartz isolé dans le granite.* Ce fait très simple, et auquel nos yeux trop habitués ne prêtent pas toute l'attention qu'il mérite , examiné avec plus de soin , suffit déjà pour donner lieu aux scrupules les plus fondés contre l'origine ignée du granite. Jusqu'à présent on n'a pu encore réussir à obtenir, par refroidissement lent d'un silicate en fusion et saturé de silice , la mise en liberté de cette silice à l'état de quartz. Que si l'on objecte à ce fait qu'un refroidissement artificiel et même aussi retardé que possible est de trop courte durée en comparaison du refroidissement extrêmement lent qui a dû avoir lieu lors de la formation plutonique de ce granite, nous rappellerons les coulées de lave qui , certes , ne se refroidissent pas trop promptement ; car , d'après M. Alexandre de Humboldt, la coulée de lave qui sortit brusquement du Jorello de 1759 à 1760 , et qui couvrit une vaste plaine jusqu'à la hauteur de 550 pieds, avait conservé, après quarante ans , une chaleur assez considérable pour permettre d'allumer des corps suffisamment combustibles , comme le serait un cigare , dans les crevasses de sa surface. Est-ce que cette coulée gigantesque de lave , et mille autres épanchements volcaniques , presque tout aussi importants, ne devaient pas se refroidir bien plus lentement qu'un filon minime de granite qui s'introduit sur de grandes étendues au milieu de terrains à peine métamorphosés et renfermant des débris fossiles ? La masse de granite zirconien , par exemple , qui s'élève près du lac Maridal , aux environs de Christiania , et qui n'occupe qu'une

(1) *Münchener Gelehrte Anzeigen*, avril 1845 , p. 557—596 ; et *Leonhard et Bronn*, 1845 , cahier 7, p. 858.

surface d'environ 1 myriamètre carré (1), projette des ramifications de 1 à 2 myriamètres d'étendue dans des couches d'argile schisteuses de transition, renfermant des débris fossiles, ainsi que dans le calcaire. On trouve dans ce granite des grains de quartz isolés même dans les endroits où le filon n'atteint qu'une épaisseur de quelques mètres, et où les roches voisines n'ont éprouvé qu'une altération très faible, visible à peine à deux ou trois pas du filon. Ce n'est donc pas au refroidissement plus rapide de la lave qu'on doit attribuer l'absence de grains de quartz qu'on y observe. Mais une autre circonstance importante, la nature chimique de cette lave, peut avoir exercé dans certains cas une influence modifiante. Un grand nombre de laves sont composées, comme chacun sait, de labrador, de rhyncholithe, d'augite, d'amphigène et d'autres minéraux semblables, qui tous consistent en silicates ayant des propriétés neutres et parfois même basiques. Les laves ne contiennent donc pas l'excédant nécessaire en silice qui, se séparant des silicates neutres par un refroidissement lent, pourrait être mis en liberté à l'état de quartz. Rien de plus naturel donc que l'absence de ce minéral dans ce genre de lave. Mais il s'en faut de beaucoup que toutes les laves soient composées de cette même manière, ce que prouvent, par exemple, les obsidiennes. D'après les analyses de Klaproth, de Vauquelin, de Collet-Descatils et de MM. A. Erdman et Berthier, les obsidiennes de plusieurs localités, tant vitreuses que cristallines, renferment :

Silice.	69,50 à 84,00	p. 400
Alumine et oxyde de fer.	5,20 à 14,50	»
Potasse et soude.	6,40 à 12,20	»
Chaux et magnésie.	0,30 à 10,10	»

Cette composition se rapproche beaucoup de celle de plusieurs granites. D'après les recherches de M. Durocher (2), la quantité de silice du granite ordinaire (3) est entre

Silice.	68,00 et 74,00
Alumine et oxyde de fer.	15,00 et 21,00
Potasse.	6,40 et 7,80
Chaux et magnésie.	1,60 et 2,30 p. 400

(1) L'auteur a indiqué ces mesures en milles de Norvège. Le mille de Norvège, mesure de longueur, est de 11,295 mètres. (*N. du trad.*)

(2) *Sur l'origine des roches granitiques; Comptes-rendus de l'Acad. des sciences*, n° 17 (25 avril 1845), p. 1275.

(3) M. Fritzsche, de Freiberg, a bien voulu me communiquer les

La composition de la pierre ponce est quelquefois identique avec celle des granites. Elle consiste, d'après M. Berthier, en

Silice	70,00
Alumine et oxyde de fer.	16,50
Chaux.	2,50
Potasse.	6,50
	95,50

Il est donc démontré que l'on trouve parmi les laves des produits volcaniques en quantités considérables qui ont une composition tout à fait analogue à celle des granites, peu importe que ces produits appartiennent au bain primitif ou qu'ils soient le résultat d'une nouvelle fusion de matières déjà solidifiées. Dans la constitution chimique des laves on ne trouve donc aucune raison qui s'oppose à la présence du quartz isolé dans leur masse. L'absence de ce minéral dans les laves ne saurait être justifiée en face des théories plutoniennes, qu'en supposant que toutes les laves riches en silice se refroidissent plus rapidement que la masse de quelque filon de granite que ce soit dans lequel on rencontre du quartz isolé.

2° *Le groupement mécanique des éléments essentiels ou accessoires du granite.* C'est précisément ce groupement qui déjà du temps de Breislak, et même auparavant peut-être, avait fait naître de justes scrupules contre la fusion ignée primitive du granite. Nous avons rappelé, dans la revue historique, les faits principaux qu'on avait remarqués à cet égard. Tous viennent prouver que dans la plupart des cas les composants essentiels ou accessoires les plus fusibles du granite se sont solidifiés les premiers, et les moins fusibles les derniers. Ce phénomène m'a intéressé de tout temps au plus haut degré, et je n'ai négligé aucune occasion pour recueillir des notes et des échantillons qui pussent m'éclairer sur ce sujet. D'après mes observations, l'achmite, le grenat, la tourmaline, l'amphibole, l'orthite, l'allanite, la gadolinite, la pyrite de fer, la pyrite arsenicale, le cobalt gris et le mica, se sont solidifiés avant le feldspath, et celui-ci avant le quartz. On peut surtout s'apercevoir de cette différence du point de solidification lorsque les minéraux de la première série, c'est-à-dire les plus fusibles, se trouvent immédiatement en contact avec le quartz (1).

résultats de l'examen de sept espèces de granite et de gneiss. La quantité de silice qu'il a trouvée est de 63,42 à 77,26 p. 100.

(1) Il n'est pas question ici du remplissage successif des filons, mais

On voit alors que le quartz n'a jamais empêché ces minéraux de cristalliser parfaitement, lorsque toutefois les autres conditions nécessaires à leur cristallisation étaient réunies. Il en est de même lorsque ces minéraux se trouvent en contact avec le feldspath; il y en a pourtant quelques uns d'entre eux, comme par exemple le mica, qui laissent entrevoir une certaine hésitation, en prenant ainsi à tâche de nous prouver que leurs points de solidification respectifs étaient très rapprochés les uns des autres. Nous voyons ce fait se reproduire entre le feldspath et le quartz. En règle générale, il est vrai, le feldspath développe ses cristaux, atteignant quelquefois des dimensions énormes de 1 pied cube (1), sans éprouver le moindre obstacle dans l'intérieur de masses volumineuses de quartz, et il détermine la forme des petites parties de quartz dans le granite graphique; mais les exemples où le contraire a lieu ne manquent pas. J'ai trouvé, par exemple, des cristaux de quartz à arêtes bien complètes dans une masse feldspathique blanche et cristalline, qu'on pouvait prendre pour de l'orthose, et qui, dans les environs de Modum, constitue comme une espèce d'amande granitique secrétée au milieu du gneiss primitif (2).

M. Durocher, dans son mémoire, rappelle, lui aussi, plusieurs exemples semblables. Du reste, bien que chez quelques uns de ces minéraux, les points de solidification ne soient pas toujours bien saillants, il n'en est pas moins vrai que le plus grand nombre rentre tout à fait dans la loi générale; et le fait que des minéraux, dont le point de fusion est beaucoup plus bas que celui du quartz, étaient déjà solidifiés lorsque celui-ci n'était encore qu'une masse plastique, n'en reste pas moins bien constaté. M. Fournet a cherché à expliquer ce phénomène éminemment paradoxal par rapport aux théories plutoniennes par l'hypothèse d'une surfusion de quartz. Il admet que le quartz fondu, en se refroidissant lentement, se comporte comme l'eau, le phosphore et le soufre fondus, corps dont la température, comme l'on sait, peut

bien de l'existence de ces minéraux comme partie intégrante du granite et des roches de la même famille.

(1) C'est entre autres ce qui arrive dans les filons de granite de l'île d'Hilteroé et près d'Arendal. Voyez *Poggendorff, Ann.*, t. LVI, p. 489; et *Leonhard's et Bronn's Jahrbuch pour l'année 1843*, p. 660.

(2) J'ai publié une description plus détaillée du gisement de ces parties granitiques caractérisées par la présence du béryl, de la pyrophyssalite, de la tourmaline, etc. — *Ann. de Poggendorff*, t. XLIX, p. 533.

tomber bien au-dessous du point de leur fusion sans qu'ils se solidifient. M. Fournet est même porté à penser qu'il existe peut-être une loi d'après laquelle les points de solidification et de fusion d'un même corps ne coïncideraient pas toujours absolument. Mais il ne faut pas oublier que le maximum de différence qu'on ait pu observer jusqu'à présent entre ces deux points pour un même corps, pour le soufre, n'atteint qu'environ 100° . Quelles ne sont pas d'ailleurs les précautions qu'on est obligé d'employer lorsqu'on veut abaisser le point de solidification? Le repos absolu du corps soumis à l'expérience est de toute rigueur; la moindre agitation, le contact le plus léger d'un autre corps, suffisent pour que la solidification se fasse instantanément. Ajoutez que jusqu'à présent on n'a pu obtenir de résultats satisfaisants que sur des quantités de soufre qui ne dépassent point les proportions de quelques gouttes.

Examinons maintenant quelle différence, en degrés centigrades, nous aurions entre les points de fusion et de solidification de la silice d'après l'hypothèse de M. Fournet. Le point de fusion du quartz n'est pas bien connu, mais nous savons, à n'en pas douter, qu'il est encore plus élevé que celui du platine. Ce métal peut être fondu, ou du moins ramolli par la chaleur la plus élevée que nous puissions produire dans nos fourneaux (1). J'avais déjà démontré que, d'après des calculs, cette température pouvait être estimée à 2570° , lorsque M. Plattner, par des recherches directes, a fixé (2) le point de fusion du platine à 2534° . En prenant donc le chiffre rond de 2500° , nous ne dépasserons point la réalité. Il est également connu que la silice se fond à la flamme du chalumeau d'hydrogène. La chaleur produite par cette flamme est, d'après mes calculs (3), d'environ 3100° , et plus exactement de 3170° ; le point de fusion de la silice doit donc être entre 2500° et 3100° ; en le rapprochant de la moyenne 2800° nous resterons plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

Il s'agit désormais de déterminer le point de fusion des minéraux les plus fusibles de la première série, tels que l'achmite, le grenat, la tourmaline et la pyrite de fer. Ce point ne pourrait être établi

(1) *Sur le maximum de chaleur produit dans un haut fourneau et sur les effets de l'emploi de l'air chaud.* Ann. de Poggendorff, t. LX, p. 518; et Ann. des mines, 3^e série.

(2) *Détermination du point de fusion de plusieurs produits d'usine et de la température à laquelle se fondent divers silicates; appendice au Mémoire de Merbach sur l'emploi de l'air chaud.*

(3) Voyez la première livraison de mes *Éléments de métallurgie*; chez Viervég, à Brunswick.

rigoureusement que par des recherches pyrométriques et des observations immédiates; mais une exactitude scrupuleuse n'étant pas nécessaire, la comparaison avec des corps analogues dont le point de fusion est approximativement connu est plus que suffisante. Les mattes plombées de Freiberg, qui, d'après les analyses de MM. Lampadius, Merbach et autres, renferment environ :

Soufre.	20
Fer.	64
Arsenic.	6
Plomb, cuivre, zinc et argent.	40

fondent, selon M. Plattner, à 1047°. La pyrite de fer composée de

Soufre.	54
Fer.	46

fondue sous une pression suffisante, n'a pas un point de fusion plus élevé, mais, suivant toute probabilité, encore beaucoup plus inférieur. Mais, n'importe, nous l'évaluerons à 1000°. Il résulte de la comparaison des compositions de l'amphibole, de la tourmaline, du grenat et des autres minéraux qui nous concernent, avec celles des diverses scories dont les points de fusion ont été déterminés par M. Plattner dans son excellent ouvrage, qu'à l'exception de quelques micas on ne peut que difficilement attribuer à ces minéraux un point de fusion supérieur à 1500°. Car tout le monde sait qu'ils peuvent être fondus complètement, et avec la plus grande facilité, à la flamme du chalumeau, à une température d'environ 2000°.

Voilà donc le quartz, dont le point minimum de fusion n'est certainement pas au-dessous de 2800°, qui par suite des théories plutoniennes de M. Fournet devrait s'être conservé dans les granites à l'état liquide, ou du moins d'une plasticité prononcée, jusqu'à une température de 1000° à 1500°. Selon cette hypothèse, *le quartz en fusion aurait par conséquent la propriété de se refroidir jusqu'à 1300° et 1800° au-dessous de son point de fusion sans se solidifier.* Une telle assertion, même en la réduisant de moitié, serait encore suffisante pour nous démontrer la hardiesse vraiment singulière de cette hypothèse. Je ne puis cependant me dispenser de rappeler que M. Durocher a indiqué une circonstance qui lui ôte un peu de sa rudesse. M. Durocher fait remarquer qu'on ne doit pas s'imaginer les principes du granite dans le bain, l'un à côté de l'autre, mais qu'ils se trouvaient fondus ensemble, et que ce n'est que plus tard que les différentes combinaisons se sont séparées de cette masse

homogène, l'une après l'autre, dans l'ordre de leur puissance de cristallisation. Ce n'est pas *le quartz envisagé comme silice pure* qui aurait subi ce grand refroidissement sans se solidifier, mais bien *le quartz combiné* avec des bases, c'est-à-dire un silicate en fusion, visqueux et vitrifiable. Ce fait est en partie très réel; il explique, en la corrigeant, la théorie de M. Fournet, mais sans cependant la justifier. Car il est évident que le point de solidification du silicate, formant le bain dont les différentes combinaisons se sont séparées, devait se rapprocher d'autant plus du point de fusion de la silice, de 2800° , que le nombre des combinaisons isolées devenait plus grand, ou, en d'autres termes, que la quantité des bases renfermées dans ce même bain diminuait. Donc, vu de près, l'argument de M. Durocher n'explique, d'une manière satisfaisante, que la formation des premiers cristaux; plus tard, on est obligé d'attribuer au bain une surfusion toujours plus considérable, jusqu'à ce qu'elle atteigne précisément le même degré que celle que M. Fournet prête à la silice. Si l'opinion de M. Durocher était la vraie, on rencontrerait bien dans le granite des cristaux de feldspath et même de minéraux encore plus fusibles, mais non pas entourés de quartz, mais bien d'un silicate amorphe, d'une espèce de pétro-silex. Il n'en serait pas résulté de granite, mais un porphyre dépourvu de quartz.

La deuxième condition que la théorie de M. Fournet exige pour acquérir un certain degré de probabilité, c'est la tranquillité absolue des masses granitiques pendant leur refroidissement infiniment lent. Je ne sais si ceux qui attribuent à plusieurs granites une origine éruptive, et je suis de leur nombre, peuvent admettre un tel repos. Qu'il n'ait pu avoir lieu dans quelques points, cela n'est pas impossible, mais qu'il ait été général, c'est ce que je ne puis admettre. Les cristaux brisés de tourmaline, d'amphibole, d'achmite, etc., que l'on rencontre si souvent dans le granite, et dont les débris sont entourés de quartz et de feldspath, prouvent suffisamment qu'il s'est opéré des déplacements.

Après une étude approfondie des circonstances qui accompagnent le groupement mécanique des éléments du granite, on ne saurait plus, il faut l'avouer, envisager cette roche comme ayant été primitivement dans un état de fluidité purement ignée. Cette opinion ne peut être défendue qu'en ayant recours à des hypothèses dont la hardiesse même empêche l'admission.

3. *La présence de minéraux pyrognomiques dans le granite.* — J'ai désigné sous le nom de *minéraux pyrognomiques* certaines substances qui, à une température dépassant à peine le rouge-brun,

possèdent la propriété de produire instantanément une lumière spontanée plus ou moins vive, qui, étant accompagnée, ainsi que M. Henri Rose l'a démontré, par un dégagement de chaleur, peut être considérée comme une véritable production de feu. Ce qu'il y a de plus remarquable dans le phénomène, c'est que ces minéraux, durant leur combustion apparente, subissent des modifications très sensibles dans leurs propriétés physiques, tandis que leur composition chimique reste la même, sauf peut-être une certaine diminution de l'eau qu'ils contiennent quelquefois. Plusieurs gadolinites, orthites et allanites sont pyrognomes au plus haut degré. Les recherches (1) que j'ai faites autrefois sur ce sujet m'ont appris que ces minéraux, après le phénomène lumineux, subissent dans leurs propriétés les modifications suivantes : *a.* Ils sont devenus plus insolubles dans les mêmes acides, puissants minéraux qui naguère les attaquaient complètement ; *b.* leur couleur et leur transparence se trouvent plus ou moins altérées ; *c.* enfin leur poids spécifique a augmenté sensiblement et dans plusieurs cas jusqu'à 6 p. 100. Le poids spécifique de la gadolinite d'Hitteröe, dans son état naturel, est, par exemple, de 4,35, tandis qu'après cette espèce de calcination il est de 4,63. Une différence aussi prononcée entre l'état de la matière avant et après le phénomène lumineux, et qui paraît tenir à une diminution instantanée de volume, de laquelle tous les autres phénomènes indiqués dépendent, s'explique d'une manière très simple, ainsi que je l'ai démontré (2), par un déplacement d'atomes. Quoi qu'il en soit, les faits sont bien avérés. En les prenant pour base, je pense pouvoir demander comment il se fait que ces minéraux pyrognomiques (3) se rencontrent dans des roches qui étaient jadis en fusion ignée. Ce n'est point leur présence dans ces roches, mais bien leur état pyrognomique qui doit nous surprendre. Ces minéraux s'étant solidifiés avant le quartz, s'ils eussent été isolés d'un fluide incandescent, auraient dû rester soumis à une haute température longtemps encore *après leur*

(1) *Annales de Poggendorff*, t. LI, p. 493.

(2) *Annales de Poggendorff*, t. LI, p. 495.

(3) J'ai signalé, il y a quelques années, l'existence (voyez *Ann. de Poggendorff*, t. LXI, p. 655) de gadolinites, d'orthites et d'allanites dans les granites de soixante localités différentes en Norvège et en Suède, de cinq localités de la Finlande, de quatre localités du Groënland et de cinq localités de l'Amérique septentrionale. Je me trouve aujourd'hui en mesure d'augmenter jusqu'à cent le nombre de ces gisements connus. J'y comprends celui d'un minéral voisin de l'orthite que M. Breithaupt a découvert près de Marienberg en Saxe,

solidification. Mais alors, comment auraient-ils acquis et conservé leurs propriétés pyrognomiques?

En réfléchissant sur l'ensemble de ces considérations tirées de la constitution chimique et mécanique du granite, on est convaincu que l'état primitif de fusion simplement ignée de cette roche, quoique les phénomènes de contact soient en faveur de cette hypothèse, *n'est pas justifié par la nature intime de la masse granitique elle-même*. Quel a donc été l'état primitif du granite? Il est démontré qu'à l'origine il formait une masse plastique, et il n'est pas du tout improbable que cette masse possédait une très haute température; mais en même temps cette masse n'a pu être aucunement dans l'état de simple fusion ignée. C'est dans le paragraphe suivant que nous essaierons de résoudre ces difficultés apparentes.

§ 4. *Essai d'une détermination plus exacte de l'état du granite avant sa solidification*. — Mon intention n'est pas d'introduire une nouvelle hypothèse dans la science; il s'agit plutôt de tirer, d'après des faits irrécusables, des conséquences qui nous servent d'arguments à l'aide desquels on puisse parvenir, sinon à déchiffrer tout à fait le problème de la formation du granite, du moins à nous rapprocher quelque peu de sa solution. Je n'entre donc pas en matière avec une supposition, mais avec un fait.

Il est reconnu que plusieurs des éléments du granite contiennent de l'eau. Le mica, la pyrite, le talc, l'amphibole, la tourmaline, la gadolinite, l'orthite et l'allanite peuvent renfermer depuis des traces jusqu'à 4 et 5 pour 100 d'eau combinée chimiquement. La chlorite, qui est un élément accessoire de quelques protogynes, en contient jusqu'à 9 et 13 pour 100. Dans quelques granites il se présente encore d'autres minéraux contenant de l'eau, comme, par exemple, dans la syénite zirconienne de Norvège. Dans bien des localités, et notamment près Brenr'g, Laurwig, Fräderikswärn et Sandefjord, on trouve dans cette syénite un minéral qui, par son extrême variabilité d'aspect, a tenu pendant longtemps les minéralogistes dans une fausse voie. On appelait autrefois radiolite une variété de ce minéral en grands cristaux rayonnants, tandis qu'une autre variété également rayonnée, mais en cristaux très minces, était connue en partie sous le nom de bergmannite, et en partie sous celui de sprenstein. Cette dernière variété avait été regardée par plusieurs géologues comme étant de la paranthine. L'analyse de ces minéraux, en apparence si différents, m'a démontré (1) qu'ils appartiennent à une seule et même espèce, c'est-

(1) *Ann. de Poggendorff*, t. LXV, p. 276.

à-dire à la natrolite. L'aspect inaccoutumé qu'elle revêt dans la syénite zirconienne est probablement dû à ce qu'elle ne se trouve pas ici dans des géodes, mais que, ainsi que le feldspath et l'amphibole, elle constitue réellement un élément de cette roche. La quantité d'eau, d'environ 10 pour 100, que contient cette natrolite, est égale à celle de la natrolite ordinaire. Enfin, nous citerons l'aspasiolite, qui renferme 7 pour 100 d'eau, et qu'on trouve dans les parties de granite à gros grains qui sont renfermées dans les gneiss primitifs.

Personne, que je sache, n'a contesté jusqu'à présent que l'eau contenue dans ces minéraux s'y est combinée dès l'origine, lors de leur solidification. Elle devait, par conséquent, s'y trouver déjà lorsque le granit ne formait encore qu'une masse pâteuse. L'existence primitive de cette eau dans le granite devient encore plus vraisemblable depuis que nous savons que l'eau joue, avec la magnésie, le protoxyde de fer, etc., le rôle de base polymérisomorphe. Or, cette base exige, tout aussi bien que les autres, sa part d'action dans la formation du granite. Ce n'est donc pas en se fondant sur une hypothèse que nous attribuons à l'eau une certaine coopération dans la formation de cette roche, mais par suite de l'existence d'un fait, et d'un fait aussi démontré que la présence de la magnésie ou des alcalis dans le granite. Il ne reste qu'à établir si cette coopération a été essentielle ou accessoire : question que nous allons examiner.

Le granite ne pouvait pas renfermer moins d'eau qu'il n'en contient à présent en combinaison chimique ; la proportion d'eau était donc ou la même ou plus considérable. Nous connaissons par là le minimum ; cherchons à en déterminer le maximum. Il ne saurait plus venir dans l'idée de personne de faire cristalliser le granite par précipitation dans une dissolution aqueuse ; mais on pourrait dire que cette roche formait comme une espèce de bouillie aqueuse, un mélange humide dans lequel les hydrates de silice, d'alumine et des autres bases seraient entrés comme composants. Or, un tel mélange aurait dû occuper un espace infiniment plus grand que celui qu'il occupa plus tard lors de sa solidification comme granite. D'ailleurs, soit de ce fait, soit des circonstances qui en résultent nécessairement, il aurait dû en arriver une foule de phénomènes si différents de ceux que nous observons réellement, qu'il ne vaudrait pas la peine de poursuivre davantage une telle supposition. Les éléments du granite, ou du moins la totalité de ces éléments, n'a donc pu se trouver dans la pâte à l'état d'hydrate, car dans ce cas la quantité d'eau contenue dans la bouillie

granitique n'aurait pu être moindre de 50 pour 100, tandis que la quantité d'eau dont l'existence dans les granites peut être démontrée de nos jours, ne dépasse guère un à quelques pour 100. *La quantité d'eau contenue primitivement dans le granite doit par conséquent être entre 1 et 50 pour 100, et il est très probable que ce quantum se rapproche davantage du minimum que du maximum.* Voilà une idée approximative de la quantité d'eau renfermée dans la pâte granitique. Qu'on la fixe à 5, 10 ou 20 pour 100, c'est à peu près indifférent. Mais comment se formera-t-il un granite cristallin d'une masse aussi passive dans laquelle les composants ne sont pas même des hydrates? A moins d'en appeler directement à la providence, en abandonnant ainsi les voies de l'expérience, nous ne saurions nous passer d'emprunter le feu des plutonistes; nous y sommes forcés, non seulement parce qu'il nous paraît impossible de ramener par un autre moyen à l'action chimique la masse humide de granite, et de lui donner ainsi le degré de plasticité et même de mollesse dans lequel elle s'est trouvée un temps sans contestation, mais encore parce que nous ne pouvons nier que plusieurs phénomènes qui se voient au contact du granite avec les autres roches rendent la haute température originaire de la masse granitique, sinon tout à fait certaine, du moins probable. Là, où il ne peut être question de l'emploi de la balance ni de mesures, on ne saurait malheureusement parvenir à une démonstration mathématique; il ne s'agit donc ici que de trouver un mode d'explication qui ne soit en contradiction avec aucune de nos connaissances actuelles. Il n'existe pas une seule théorie, si ce n'est une théorie mathématique, dont on puisse dire qu'elle soit absolument vraie. Pas une n'est assurée contre les changements que l'avancement de la science nous contraint d'y apporter. Dès le moment que l'on prouvera que l'admission d'une haute température originaire conduit à des controverses, ou que cette hypothèse peut être remplacée par une autre plus vraisemblable, nous serons obligés de l'abandonner. Tant que cela n'a pas lieu, nous ne rejetterons point ce qui est admis généralement, nous ne démolirons point avant d'avoir édifié. C'est donc du point de vue de l'état actuel de nos connaissances, et convaincu de la possibilité que de nouvelles expériences peuvent changer cet état de choses, que j'admets le feu comme étant un agent essentiel dans la formation du granite.

Des proportions d'eau de un à quelques pour 100 se trouvent dans le bain granitique. Supposons que cette bouillie, épaisse et humide, soumise à une pression qui en empêche le dégagement de

l'eau, soit chauffée jusqu'à une haute température ; qu'arrivera-t-il ? Nous ne pouvons répondre qu'approximativement , et par des inductions théorétiques , à un problème que nous ne saurions espérer de voir résolu par l'expérience. Il arrivera , avant tout , que cette pâte imprégnée d'eau et chauffée sous une forte pression fondra à une température de beaucoup inférieure à celle où fondrait un mélange identique , mais anhydre. Il me paraît démontré que les atomes des matières solides , déjà écartés les uns des autres par la simple chaleur , doivent l'être encore plus par la vapeur d'eau qui vient s'interposer entre eux sous une très haute pression , ce qui viendrait accélérer singulièrement le passage de toute la masse à l'état liquide. La fonte des sels , dans leur eau de cristallisation , nous fournit un exemple semblable. Le granite une fois amené à cet état qui , bien qu'étant un état de *fusion* , ne saurait être confondu avec une *fusion tout simplement ignée* , il en résultera nécessairement , pendant son refroidissement lent , des effets d'une nature très différente de celle des conséquences qui suivraient le refroidissement d'une masse sèche , c'est-à-dire d'une masse qui aurait été en fusion purement ignée. Les vapeurs d'eau , ainsi interposées et soumises à une forte pression qui pouvait en partie les condenser et les maintenir à l'état liquide , ont dû prolonger la liquidité ou du moins la plasticité du granite jusqu'à une température proportionnellement très basse. Les minéraux qui avaient plus de tendance à cristalliser , ceux dont la *puissance de cristallisation* suffisait à vaincre l'influence contraire des vapeurs aqueuses et à rapprocher et ordonner leurs atomes de manière à ce qu'il en résultât des cristaux ou une masse cristalline , ont dû être les premiers à se séparer. Toute l'eau que les minéraux ne se sont pas appropriée lors de leur cristallisation se concentrent successivement dans le bain riche en silice , puis enfin dans la silice pure , qui , en raison de son peu de tendance aux formes régulières et de l'augmentation continuelle de cette eau , n'a pu se solidifier que très tard. Cela n'a dû s'opérer qu'alors que la température du granite se fut encore considérablement abaissée , et lorsque l'eau , qui n'était pas en combinaison chimique , est parvenue à se dégager entièrement de la masse granitique ; ce qui n'a pu avoir lieu qu'après de très longues périodes. Par ce moyen , la séparation de la silice libre et le groupement , en apparence paradoxal , des éléments du granite , trouvent ainsi leur explication. Et nous voyons en même temps comment les minéraux pyrognomiques ont pu acquérir leurs propriétés caractéristiques au milieu d'une masse en fusion ; ils ont cristallisé à une température qui , non seulement était au-

dessous de leur point de fusion actuel, mais qui n'arrivait pas même à la chaleur rouge, degré auquel se manifeste cette production si remarquable de lumière et de chaleur.

Dans une question aussi importante que celle de la formation du granite, on ne saurait employer trop de circonspection. C'est pourquoi nous hésiterions encore à nous fonder sur ces conclusions, si d'autres phénomènes ne venaient augmenter encore davantage les chances de notre hypothèse et appuyer cet état de fusion ignéo-aqueuse du granite. En voici quelques uns :

a. Les propriétés de certaines cavités géodiques, de certaines veines et de certains filons des roches granitiques. — On trouve fréquemment dans le granite et dans le gneiss primitif des cavités dont les parois sont revêtues de cristaux de diverses espèces. C'est surtout en Norvège que j'ai rencontré un nombre assez considérable de semblables cavités renfermées dans des masses compactes de roches imperméables; c'est là que j'en ai étudié la structure avec beaucoup de soin. Eh bien, toutes les circonstances qu'on y observe tendent à démontrer que les cristaux qu'elles renferment y ont été déposés par une solution quelconque. Dans plusieurs localités des environs de Modum, Snarum et Sigdal, j'ai trouvé, dans des cavités pareilles, des cristaux de quartz atteignant un poids de plusieurs livres, et dont la structure démontre évidemment qu'ils se sont formés par couches successives de dedans en dehors. Les diverses périodes d'accroissement sont marquées par de minces couches d'une matière pulvérulente et opaque, interposées entre les couches transparentes du quartz, et disposées souvent d'après les mêmes lois de gravité qui régissent les précipités qui se font dans un liquide. Dans une cavité revêtue de cristaux de quartz et d'amphibole on pouvait très bien s'assurer que ces derniers, dont quelques uns atteignaient la longueur d'un pied, s'étaient non seulement formés les premiers, mais qu'ils avaient gêné la cristallisation du quartz, qui a eu lieu postérieurement. Je conserve, dans ma collection, un cristal de quartz recueilli dans cette cavité, qui se trouve fendu en quatre parties par trois cristaux d'amphibole libres auparavant, et dont l'axe longitudinal est presque perpendiculaire à l'axe principal du cristal de quartz. Ces quatre parties dépassent plus ou moins les cristaux d'amphibole. Je pourrais citer aisément encore bien des exemples, qui démontrent l'accroissement successif des cristaux dans les cavités, et leur cristallisation dans un liquide. Ils sont tous très connus; il suffit donc d'en faire mention pour appeler sur eux l'attention des géologues, qui, à la vérité, ne paraissent pas y avoir réfléchi suffisamment jusqu'à

ce jour. Nous observons les mêmes phénomènes dans une certaine classe de filons qui se présentent dans les roches granitiques ou autres. On peut y reconnaître d'une manière, je dirai presque matérielle, que leur remplissage s'est fait par les dépôts de solutions ou de bouillies qui s'échappaient de la roche encaissante. C'est pourquoi on les a nommés *filons de sécrétion*.

En résumé, l'observateur attentif des roches granitiques ne peut se défendre de l'idée que celles-ci contiennent pour ainsi dire un suc qui, s'écoulant dans les cavités et dans les fentes, tapissait de cristaux leurs parois; ce suc pénétrait plus ou moins dans les roches stratifiées que le granite, pendant son état plastique, venant à toucher, et, en favorisant par imbibition leur métamorphose, prenait une part plus ou moins grande à la formation des produits de contact. Le fluide imprégnant la masse chaude du granite ne saurait être convenablement autre chose que de l'eau à une très haute température, mais maintenue cependant à l'état liquide, et pouvant s'échapper en gouttelettes sous une énorme pression. Elle contenait en dissolution une partie des substances solides, et surtout de la silice. Nous savons, en effet, par les recherches intéressantes de M. Schafhäult (1), que l'eau chauffée au-dessus de 100°, dans la marmite de Papin, acquiert la propriété de dissoudre de la silice, et que de cette dissolution il se précipite des cristaux de quartz. Combien plus facilement ne devait donc pas être soluble la silice dans une eau possédant très probablement une température incomparablement plus haute !

b. *La transformation des schistes argileux en roches prenant l'aspect de gneiss et de granites.* — Dans plusieurs points de la Norvège méridionale on peut se convaincre facilement que les couches des schistes argileux du temps où les masses granitiques opérèrent leur injection n'étaient pas aussi solides, qu'elles n'étaient pas encore endurcies comme elles le sont aujourd'hui, mais qu'elles possédaient une certaine plasticité et pouvaient être plissées en grand. Sans cela, le granite pénétrant dans les couches des schistes n'aurait pu ni leur faire prendre la forme de rides ondulées, ni les repousser sans les briser en morceaux nombreux et anguleux. Les schistes argileux, déposés sous les eaux, renfermant souvent des débris fossiles, n'étaient probablement redevables d'une telle flexibilité qu'à l'humidité qu'ils renfermaient encore. Or, lorsque nous voyons ces schistes être transformés dans le voisinage du granite en gneiss et même quelquefois en des ro-

(1) *Münchener Gelehrte Anzeigen* 1845 avril, pag. 557—596.

ches granitoïdes, qu'est-ce que c'est que cela, sinon la transformation en roches granitiques de masses contenant de l'eau et portées à une haute température?

En considérant comme prouvé, par suite des faits positifs que nous venons de rappeler, que l'eau a joué un rôle essentiel dans la composition du granite, on se demandera si d'autres corps expansibles, comme, par exemple, l'acide carbonique, ou si même d'autres agents impondérables, en dehors de la chaleur, n'ont pas exercé une certaine influence dans cette formation. Quant au premier point, les recherches de M. Brewster sur les liquides renfermés dans divers cristaux transparents paraissent bien indiquer que, dans quelques cas au moins, des gaz fortement comprimés ont assisté à la formation des minéraux les plus anciens. L'influence des agents impondérables n'est pas impossible non plus. Nous connaissons à cet égard l'existence d'un fait qui n'est pas à négliger; M. Pierre Riess, à qui nous en devons l'observation, a démontré qu'un fil de platine, sous l'action d'un très fort courant électrique, peut fondre à une température qui ne dépasse que de peu 200°, c'est-à-dire environ 2300° au-dessous de son point de fusion ordinaire! Il serait prématuré de poursuivre l'examen de ces faits et de s'en faire un appui pour l'explication de la formation du granite; car, dans l'état actuel de nos connaissances, cela ne serait possible qu'en nous lançant dans le domaine des hypothèses. Appuyons-nous donc aujourd'hui uniquement sur les faits, sur l'existence primitive de l'eau dans la masse plastique et fortement échauffée du granite.

Dans tout cela je ne pense guère avoir exposé rien de bien nouveau, car un grand nombre de géologues ont admis depuis longtemps le concours de l'eau dans la formation du granite. C'est d'ailleurs un précepte ancien et reçu des plutonistes, qu'*il faut se figurer les roches cristallines primitives comme ayant été fondues sous l'eau et sous une forte pression*. Suivant ce précepte, tâchons de nous former une idée claire des circonstances qui en résultent, et toutes les objections plus ou moins fondées qu'on a pu opposer jusqu'à présent à ceux qui admettaient l'état de fusion originaire du granite tomberont d'elles-mêmes.

M. d'Omalus demande à M. Damour s'il admet que l'eau joue ainsi tantôt le rôle de base et tantôt celui d'acide.

M. Damour répond que la question soulevée par M. Scheerer a beaucoup d'intérêt; il rappelle à cette occasion les travaux de M. Millon sur les bases polyatomiques.

M. Delbos ajoute qu'il y a des chimistes qui regardent les acides comme formés d'un atome d'acide et d'un atome d'eau épigénique pouvant être remplacé par une base.

M. Angelot fait, sur le Mémoire de M. Scheerer, les observations suivantes :

Dans l'intéressant mémoire dont nous venons d'entendre la lecture, M. Scheerer met en avant l'idée de la formation des granites par une double cause, le concours de l'eau et du feu. Sans me prononcer d'une manière péremptoire pour ou contre cette idée très digne d'attention, je crois devoir faire remarquer cependant que la présence d'une très petite quantité d'eau, dans certains micas et certains minéraux accidentels plus ou moins abondants dans quelques granites, n'a point, pour prouver une *double* cause de formation, l'importance décisive que M. Scheerer paraît lui attribuer. Cette présence peut parfaitement s'expliquer dans le cas de la fusion purement ignée des granites. L'eau, en effet, peut bien être *un des éléments*, sans être *cause* ou *agent* de cette formation plus que les autres éléments de la roche. Dans un assez long mémoire, lu à la Société en février 1842, je cherchais à établir, contre l'opinion d'un assez grand nombre de géologues, que très probablement il y avait communication entre les eaux superficielles et les matières minérales à l'état de fusion ignée dans l'intérieur du globe, et qu'au moyen de l'énorme pression hydraulique produite par les colonnes d'eau descendantes, elles devaient rester liquides au contact des matières incandescentes et jouer un grand rôle dans les phénomènes volcaniques. Mais tout en donnant à cette idée toute la démonstration dont elle me paraît susceptible, je commençais par reconnaître, et je m'attachais même à établir, par une suite de raisonnements plus serrés, je crois, qu'on ne l'avait fait jusque là, qu'une *dissolution primitive d'eau*, dans les *matières minérales à l'état de fusion ignée* dans l'intérieur du globe, était non seulement un fait probable, mais un fait *nécessaire* dans l'hypothèse, assez généralement admise maintenant, de l'état primitivement gazeux de notre globe. En effet, dans une masse chaotique gazeuse, la loi de la *diffusion des gaz* a dû agir et mélanger ensemble toutes les matières. Quand certaines d'entre elles ont graduellement passé à l'état liquide sous l'influence d'une certaine diminution de température et de l'augmentation de la pression, il a dû y avoir, par suite de cette énorme pression même, dissolution de tous les gaz et vapeurs dans ce chaos de matières

minérales liquides, malgré leur haute température. L'eau a donc pu entrer comme *élément* dans les roches qui se sont formées par suite du refroidissement de ces matières. Je ne veux pas abuser des moments de la Société en reproduisant ici les longs développements que j'ai donnés à ces idées. Je me contenterai donc de renvoyer à mon mémoire lui-même (1).

M. d'Omalius ajoute qu'il lui semble qu'il n'y a pas de différence d'opinion entre M. Scheerer et M. Angelot.

M. Frapolli est de cet avis.

M. Angelot dit qu'alors les opinions de M. Scheerer rentre-raient dans les siennes.

M. d'Omalius croit qu'il y a tout - à - fait accord entre MM. Scheerer et Angelot. Il semble que M. Scheerer a voulu montrer la différence entre la manière dont a eu lieu la fluidité ignée et celle dont nous l'admettons ordinairement.

M. Delanoue fait remarquer qu'il semble incroyable de prime abord que l'eau puisse rester partie intégrante de minéraux formés par suite d'une fusion ignée, et cependant rien de plus probable, dans certains cas fort exceptionnels, que l'hypothèse de M. Angelot (l'intervention de l'eau rouge et liquide à une haute pression); rien de plus évident et de plus ordinaire que l'existence de l'eau dans certains corps soumis à une fusion ignée (hydrates de potasse, soude, etc.).

L'acide borique, qui est si fixe à la plus haute température, se volatilise en retenant de l'eau. Et, soit dit en passant, c'est probablement à cette propriété qu'est due l'arrivée, jusqu'ici assez énigmatique, de l'acide borique dans les *solfioni* de la Toscane.

M. Hébert répond que M. Aug. Laurent a lu, le 25 janvier 1847, à l'Académie des sciences, un extrait d'un travail dans lequel il a constaté par des expériences précises et multipliées que le borate de potasse, chauffé à une température supérieure à celle de la fusion de l'argent dans un fourneau à calcination, a été fondu, mais retenait encore 1 pour 100 d'eau. Ce qu'il y

(1) Voir *Note sur la cause des émanations gazeuses provenant de l'intérieur du globe*, par M. Angelot. (*Bulletin de la Société géologique de France*, 4^{re} série, t. XIII, p. 178—194.)

a de singulier, c'est que le même borate de potasse vitrifié, chauffé de nouveau sur la lampe à alcool à une température bien inférieure à celle à laquelle il avait déjà été soumis, et à peine suffisante pour le ramollir, laissa perdre une partie de cette eau qu'on vit se dégager en bulles et se condenser à l'extrémité étranglée d'un tube bien desséché, dans lequel il avait renfermé le borate de potasse vitrifié.

Cependant, comme il ne croyait pas toute l'eau éliminée, M. Laurent fit fondre le borate d'ammoniaque avec une petite quantité de spath d'Islande bien pur, et il obtint à la fin un verre transparent qui, pesé, montra que toute l'eau avait enfin été chassée.

M. Boubée pense que M. Scheerer s'est fait une opinion exagérée de la présence de l'eau à l'origine des granites; il semble qu'il était plus simple de supposer que les corps en fusion ont la propriété d'absorber les matières gazeuses et de les rejeter ensuite lors de la solidification.

M. Frapolli fait observer que c'est là l'idée de M. Angelot, et que M. Scheerer ne s'est écarté de cette idée que pour s'appuyer uniquement sur l'expérience de la composition des minéraux.

M. Virlet ajoute à ce que vient de dire M. Angelot que l'intervention de l'eau dans les phénomènes volcaniques lui paraît d'autant plus difficile à nier, qu'elle se manifeste par la présence de nombreux hydrosilicates zéolithiques que beaucoup de roches plutoniques renferment; que d'ailleurs quelques unes de ces roches, comme les ophiolithes, ne sont elles-mêmes que des hydrosilicates, et qu'enfin, pour les personnes qui ont étudié les phénomènes des filons, l'existence d'hydrates plutoniques n'est pas plus douteuse que celle des carbonates, des sulfures plutoniques; etc.

Observations sur le métamorphisme normal et la probabilité de la non-existence de véritables roches primitives à la surface du globe, par M. Virlet d'Aoust.

Le mémoire de M. Scheerer, analysé d'une manière si claire par M. Frapolli, m'a fait éprouver d'autant plus de plaisir que la plupart des idées de ce savant chimiste sur la formation des

granites viennent tout à fait à l'appui de mes opinions sur l'existence des *granites métamorphiques* (1). L'auteur, à la vérité, n'explique pas d'une manière bien précise comment il entend que l'eau de composition qui existe dans quelques uns des éléments constitutants, et qu'il regarde comme *primitive*, est originairement intervenue dans la formation; mais cette intervention devient très simple et très facile à comprendre, si on admet que les granites ont, comme les gneiss, une origine complexe due au métamorphisme normal, et sont le résultat de la transmutation d'anciens dépôts formés sous les eaux. Cette hypothèse peut se déduire des propres observations de M. Scheerer, qui signale les gneiss de la Norvège méridionale comme étant non seulement le résultat de la transformation des schistes argileux, mais encore comme ayant été métamorphosés sur plusieurs points en roches granitoïdes. J'ai signalé aussi un exemple analogue au Montabon, près Châlon-sur-Saône, où le granite rouge qui constitue cette montagne m'a paru être également le résultat d'une *sur-modification* ou d'un métamorphisme plus avancé de la grande bande gneissique, dont il forme le prolongement oriental (2). La transmutation des

(1) *Bull. Soc. géol.*, 2^e série, t. I^{er}, p. 766 et 825; et t. III, p. 94. Voir au t. IV, p. 297, ce que j'ai dit aussi en note relativement à l'origine métamorphique de certains porphyres et d'autres roches réputées plutoniques. Depuis la présente communication, le Mémoire de M. Fournet sur le *métamorphisme dans les Vosges*, dont M. Viquesnel n'avait fait que donner une analyse succincte, a paru dans le t. IV du *Bull.*; il y développe, à la page 239, d'une manière très claire les phénomènes d'imbibition et de pénétration réciproque des masses ignées et neptuniennes, que j'avais décrits d'une manière plus générale dans ma *Note sur les roches d'imbibition*, t. I^{er}, p. 845.

(2) *Bull. Soc. géol.*, 2^e série, t. III, p. 326. Depuis longtemps déjà M. Élie de Beaumont avait été amené à émettre une opinion semblable relativement aux gneiss charbonneux des Vosges, et voici comment il s'exprime à ce sujet à la page 346 du t. 4^{es} de la *Description de la carte géologique de France*: « Il semble véritablement très probable » que toutes ces matières charbonneuses ont eu pour origine des végétaux déposés en même temps que les matières premières de la roche, » quelle que puisse être aujourd'hui la texture cristalline de celle-ci. » S'il en était ainsi, le gneiss dont nous parlons devra être classé » parmi les roches métamorphiques, ce que la présence des amas de » calcaire grenu tendait déjà à faire soupçonner; et cela ouvrira le » champ à bien des conjectures sur l'origine du leptynite et du granite » à petits grains auxquels le gneiss se lie si intimement.

» L'hypothèse de l'origine métamorphique du gneiss des Vosges est » parfaitement en rapport avec son gisement qui est parallèle à celui

roches sédimentaires en granite, ou leur *granitification*, pour employer un mot qui caractérise le phénomène, n'est donc pas plus difficile à admettre que leur changement en gneiss; il suffit seulement de supposer ou que l'action métamorphisante a été plus directe et plus intense, ou qu'elle a été plus prolongée. Aussi la *gneissification* et la granitification des schistes argileux de la Norvège portent-elles M. Scheerer à se demander en quelque sorte instinctivement qu'est-ce que cela, si ce n'est la transformation en roches granitiques de masses contenant de l'eau et portées à une haute température? Évidemment s'il avait poussé comme moi un peu plus loin la conséquence, il arrivait à la seule application qui me paraisse pouvoir se concilier avec les faits; car en envisageant la question de la génération des granites sous ce nouveau point de vue, on fait aisément concorder toutes les circonstances géologiques et minéralogiques avec les déductions de la chimie; l'intervention de l'eau dans les différentes proportions constatées s'explique très bien; sa conversion de l'état de simple mélange à celui de composition est facile à concevoir; elle s'opérait en même temps que les autres substances se combinaient entre elles et passaient probablement aussi de l'état de mélange à celui de combinaisons chimiques. Il n'est plus besoin alors de supposer, soit avec les neptuniens, ce magma, cette bouillie granitique originelle devant contenir au moins 5 p. 100 d'eau d'hydratation; soit avec les plutoniens, cette espèce d'oxydation chaotique des roches primitives par l'eau, qui force à admettre, contre toute probabilité, qu'elle existait lors des premiers encroûtements de la surface du globe.

Il n'est pas nécessaire d'admettre non plus, comme on le suppose trop généralement, qu'une très haute température ait toujours été indispensable pour produire le métamorphisme normal et les transformations granitiques, puisque les expériences de M. Schafhäült ont démontré que sous l'influence de la pression la vapeur d'eau échauffée au-dessus de 100° jouit de la propriété de dissou-

» du micaschiste et du schiste argileux, schistes qui passent de l'un à l'autre et auxquels le gneiss passe lui-même. »

M. Daubrée ayant de son côté signalé en Suède des faits tout à fait analogues (t. IV, p. 243, de la 4^e série des *Ann. des mines*), M. Élie de Beaumont en a conclu, dans une de ses savantes leçons au Collège de France de 1846, que la grande formation des gneiss de la Suède, sur laquelle repose le terrain silurien, était, comme celle des Vosges, le résultat d'une transformation de roches sédimentaires, due au métamorphisme normal.

dre la silice, et que très probablement, comme l'a également démontré M. Brewster, l'intervention d'autres gaz a dû avoir aussi une grande influence sur le développement de la cristallisation des roches modifiées. Cela est si vrai, que la plupart de ces roches ont conservé leur stratification, et qu'on voit même certains granites, comme, par exemple, ceux des Alpes de la France centrale, de la Bretagne (1), etc., conserver encore quelquefois aussi leur schistosité et leurs plans de stratification primitive, en offrant des passages évidents avec des roches d'origine incontestablement stratifiée; enfin l'on peut voir encore dans les granites de Normandie (2), qui servent au revêtement des trottoirs de Paris, et dont l'origine métamorphique est si évidente, des milliers de fragments non fondus, quoique le plus souvent aussi modifiés, des différentes roches plus anciennes qu'ils renferment; ce qui annonce que très vraisemblablement leur granitification n'a exigé qu'un simple ramollissement des masses.

L'hypothèse du métamorphisme normal, que les découvertes de la géologie, autant que l'avancement de la chimie inorganique, tendent chaque jour à élever au rang des vérités les mieux démontrées, conduit à faire admettre, comme conséquence natu-

(1) M. Durocher, dans son intéressant travail *sur l'origine des roches granitiques*, s'appuie sur les liaisons intimes qu'il y a entre les granites, les porphyres quartzifères et les pétrosilex de la Bretagne, tant sous le rapport des passages insensibles qu'ils présentent sur une même zone et à des distances très rapprochées, que sous celui de la composition chimique et de la pesanteur spécifique, pour en conclure avec raison que ces granites sont des roches pétrosiliceuses parvenues à un développement complet, et que les porphyres quartzifères, ou, comme il les appelle, les granites porphyroïdes, dans lesquels il reste encore une petite portion de la pâte qui paraît n'avoir pas été décomposée entièrement, offrent les derniers termes de l'état originaire de ces roches. Mais M. Durocher, partant de l'hypothèse ignée, pense que les pétrosilex ne sont que des granites dont la cristallisation n'a pu se développer; tandis qu'ils appartiennent, en partie du moins, aux roches d'imbibition, et qu'il existe bien des raisons, surtout en Bretagne, pour n'y voir simplement que l'un des premiers termes d'une série de transformations métamorphiques dont les porphyres et les granites ne sont que les plus avancés. Dans le Morvan, les porphyres blancs quartzifères, à structure schisteuse et à noyaux étrangers de la Roche-en-Breuil, que je regarde comme métamorphiques, me paraissent aussi avoir donné lieu, par un développement plus considérable de la cristallisation, aux granites blancs très cristallins des environs de Lormes.

(2) *Bull.*, 2^e série, t. III, p. 94.

relle, une autre hypothèse qui est depuis longtemps entrée dans mes convictions les mieux arrêtées et à laquelle le mémoire de M. Scheerer me semble donner toute actualité, savoir : *qu'il n'existe très probablement plus, et qu'il ne peut même plus exister à la surface du globe de roches primitives, c'est-à-dire qui n'auraient été soumises à aucune transformation soit chimique, soit simplement moléculaire, depuis son refroidissement originel.* En effet, si, par un de ces hasards extraordinaires, il y avait encore, sur quelque point de la surface du globe, de ces roches de premier encroûtement, la condition première de leur existence serait de ne contenir aucune trace d'eau de combinaison : or, plusieurs des éléments constitutants (1) de la plupart des roches granitiques généralement considérées comme les plus anciennes en contenant toujours plus ou moins, ces roches ne peuvent évidemment être considérées comme représentant ces masses ignées anhydres. Au surplus, lors même que certaines de ces roches granitiques seraient tout à fait privées d'eau de composition, il y aurait encore bien des raisons pour les maintenir dans la catégorie des roches modifiées.

Le métamorphisme normal, ainsi étendu à toutes les roches dites primitives, n'est d'ailleurs que le corollaire de la théorie de la chaleur centrale et de la fluidité ignée originelle du globe ; c'est la conséquence des nombreux phénomènes chaotiques qui ont dû signaler le refroidissement de la première enveloppe solide et le dépôt des premiers sédiments ; car il suffit de tenir un peu compte des lois de la pesanteur, pour voir que, par suite de la simple pression exercée sur la masse fluide par cette croûte encore mal consolidée et flottant en quelque sorte sur un bain de densité moindre, il y a eu sur toute la surface du globe, pendant les premières périodes géologiques, de nombreux flux et reflux de chaleur. C'est à ces retours fréquents de la chaleur, à ces effluves centrales, qu'il faut principalement attribuer le métamorphisme normal, qui a dû nécessairement s'étendre à toutes les masses primitives, tant

(1) Ces éléments, reconnus déjà dans plus de cent gisements différents, sont le mica, la pinite, le talc, l'amphibole, la tourmaline, la gadolinite, l'orthite et l'allanite, qui peuvent renfermer depuis des traces jusqu'à 4 et 5 pour 100 d'eau de composition ; le dichroïte et l'aspasolite, qui en contiennent depuis 1 jusqu'à 7 pour 100 ; la natrolithe des syénites zirconiennes de la Norvège, qui en contient 10 pour 100, et enfin le chlorite des protogynes, qui en contient de 9 à 13 pour 100. M. Berthier a aussi reconnu que les pétrosilex des environs de Nantes contenaient 1 1/2 pour 100 d'eau de composition,

plutoniques que neptuniennes, lesquelles ont été modifiées et transformées bien plutôt deux et trois fois qu'une, si même, ce qui est fort probable, elles n'ont pas été fondues et refondues.

Le défaut d'homogénéité générale des granites, dont la texture varie souvent d'un point à un autre, et les différences qu'ils présentent dans les proportions de leurs éléments intégrants sur des points quelquefois très rapprochés, viennent encore étayer l'hypothèse de la transmutation successive de toutes les roches anciennes; car les liaisons intimes qu'il y a entre les roches du groupe granitique, lesquelles passent souvent par les nuances les plus insensibles les unes aux autres, s'expliquent bien plus facilement par des actions métamorphiques variées ou qui ont agi sur des roches de compositions différentes, que par pénétration ou juxta-position réciproques de ces mêmes roches. N'est-ce pas l'idée qui doit venir tout d'abord, lorsqu'on examine, par exemple, les rapports, signalés pour la première fois par M. Rozet (1), qui existent entre les leptynites, les gneiss et les granites des Vosges, rapports si intimes, qu'on ne pourrait le plus souvent dire où commence et où finit l'une ou l'autre de ces roches? C'est encore l'idée que je me suis faite depuis longtemps, relativement à la syénite, en voyant comment dans les montagnes granitiques de Mykonos, l'une des îles de l'archipel grec, elle passe et repasse successivement au granite commun, sans que celui-ci éprouve d'autre modification que celle qui résulte d'un changement dans son mica, transformé en partie ou en totalité en amphibole. Ce changement du granite ordinaire en granite syénitique est rendu très vraisemblable par celui que l'on remarque quelquefois dans le voisinage de certains filons de quartz, où les roches micacées se trouvent transformées d'une manière très évidente en masses amphiboliques, dioritiques ou chloriteuses (2). L'existence des nombreuses substances accidentelles

(1) *Description géologique de la partie méridionale de la chaîne des Vosges*, in-8°, 1834.

(2) C'est un phénomène que j'ai eu souvent occasion d'observer dans les montagnes d'entre Saône-et-Loire ainsi que dans celles du Pilat; M. Daubrée l'a également signalé aux environs d'Arendal, en Suède, où l'on voit des passages du gneiss au schiste amphiboleux dans le voisinage des mines de fer (page 212 du *Mémoire* précédemment cité). Enfin, M. Fournet, auquel on doit tant d'observations intéressantes sur le métamorphisme accidentel ou de contact, le cite à la page 74 de son *Mémoire* intitulé : *Simplification de l'étude d'une certaine classe de filons*, inséré dans les *Annales de la Société royale d'agriculture de Lyon pour 1845*.

des granites sur certains points, tandis qu'elles n'existent pas sur d'autres, s'expliquerait d'ailleurs bien difficilement, si l'on n'admettait ou une composition originelle variable, ou, ce qui est bien plus probable, l'intervention sur certains points d'éléments nouveaux qui sont venus pénétrer la masse, s'ajouter à ses éléments constitutifs et les modifier. N'aurait-on pas encore d'ailleurs une preuve de l'origine métamorphique de ces roches dans l'existence du bitume que quelques unes d'entre elles renferment, et qui, s'il n'est pas un produit *sui generis*, indiquerait la disparition de corps organisés dont l'existence ne se révélerait plus que par la présence de cette matière minérale organique.

Enfin, je crois que l'état d'agrégation mécanique même des roches à structure cristalline peut encore très bien être invoqué comme l'une des meilleures preuves du métamorphisme général; car leur cristallisation anormale, confuse et souvent imparfaite, n'annonce certainement pas, comme l'a au reste fort bien démontré M. Scheerer, une fluidité ignée originelle et un refroidissement très lent, et tel que celui de la première croûte du globe, qui, quelque rapide qu'on le suppose avoir été, a pu durer des centaines et même des milliers de siècles. Cette agrégation, dont jusqu'ici les hypothèses neptuniennes et plutoniques ne sont point encore parvenues à donner une explication rationnelle, me paraît devoir s'expliquer, au contraire, très bien par l'hypothèse du métamorphisme normal; et les expériences de MM. Schafhäult, Brewster, Biess et Scheerer font aisément concevoir que, sous l'influence de la pression, de la vapeur d'eau et des autres gaz, ainsi que sous celle des agents impondérables qui ont pu également avoir leur part d'influence, le feldspath, le mica et les autres substances minérales ont fort bien pu aussi cristalliser à une température qui pouvait être d'autant plus basse, que généralement ces substances sont elles-mêmes d'autant plus fusibles, qu'elles sont plus basiques; tandis que, en raison de sa grande infusibilité, la silice, seulement ramenée à l'état de masse plastique, n'a pu cristalliser, et a conservé les formes généralement amorphes et englobantes qu'elle montre dans presque toutes les roches à structure granitoïde. Ce genre de formation se concilie très bien avec la manière d'envisager la cristallisation des roches granitiques par suite d'une fusion *ignée aqueuse* de M. Scheerer, ainsi qu'avec les propriétés pyrognostiques qu'il a constatées dans un grand nombre des substances minérales qui les constituent.

Quelques géologues ne manqueront sans doute pas d'invoquer en faveur des anciennes idées exclusivement plutoniques les injec-

tions évidentes de la plupart de ces roches ; mais je me bornerai à leur rappeler ici ce que j'ai déjà dit ailleurs à ce sujet (1), que le surgissement de telle ou telle roche n'entraînait pas nécessairement toujours la conséquence d'une origine ignée , parce que le métamorphisme a pu , dans de certains cas , donner lui-même lieu et en agissant par pression sur les masses inférieures , à des surgissements analogues.

En résumé , je pense qu'un examen bien raisonné des roches cristallines et fait sur le terrain même , doit porter tout géologue qui réfléchit un peu aux conséquences de l'ensemble général des faits qu'elles présentent à douter qu'il existe encore quelque roche que l'on pourrait réellement considérer comme *primitive* ; dans toute l'acception de ce mot , qui ne devra plus avoir désormais qu'une valeur géologique purement relative ; car toutes les roches que l'on a appelées jusqu'ici primitives pourraient bien n'être que de deuxième , de troisième , etc. , formation , si même elles ne sont d'une formation encore beaucoup moins ancienne.

Je ferai observer , en terminant , que je ne pense pas , comme quelques géologues , que les cristaux de quartz observés dans les filons et les géodes des granites et des gneiss de la Norwége soient dus à des ségrégations , mais bien , comme le suppose M. Scheerer , à des sécrétions , lesquelles , ainsi que je l'ai dit ailleurs (2) , ont dû être déterminées par des transports moléculaires postérieurs , tout à fait analogues à ceux qui ont donné naissance aux nodules siliceux , ferreux ou calcaires , ainsi qu'aux cristaux de quartz , de chaux carbonatée et de tant d'autres substances qu'on rencontre , soit dans les interstices , soit tapissant les cavités géodiques ou l'intérieur des coquilles fossiles des terrains plus récents. Les granites et les gneiss ne sont pas , en effet , des roches assez uniformément compactes pour que des courants , surtout s'ils étaient favorisés par une grande pression et une haute température , n'aient pu parfois s'établir dans leur intérieur , comme dans les autres roches , et déposer dans leurs fentes ou cavités , sous forme de cristaux , les molécules des substances qu'ils pouvaient contenir en dissolution et entraîner à leur suite.

(1) *Bull. Soc. géol.* , 2^e série , t. I , p. 854. Voyez aussi ce que vient de dire M. Fournet à la page 240 du t. IV , qui peut donner une idée exacte de la manière dont le phénomène a pu se produire.

(2) *Bull. Soc. géol.* , 2^e série , t. I , p. 746 ; t. II , p. 498 ; et t. III , p. 450.

Séance du 1^{er} mars 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Hugard, vice-secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite de la présentation faite dans la dernière séance, le Président proclame membre de la Société,

M. le docteur William Roux, rue du Puits-Saint-Pierre, à Genève, présenté par MM. Ed. Ruinart de Brimont et Lévêque.

Le Président annonce ensuite une présentation.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. Alcide d'Orbigny, 1^o *Paléontologie française*. — *Terrains crétacés*; livraisons 119—120. — *Terrains jurassiques*; livraison 42.

2^o *Voyage au pôle Sud et dans l'Océanie*; pl. I à VI. — *Géologie*; pl. IV à IX, in-f^o, sans texte.

De la part de M. Paillette, 1^o *Plano general*, etc. (Plan général des ravins et mines de la Sierra Almagrera, province de Murcie, par MM. J. M. et J. L. de Madariaga); 3 f. grand-aigle. Malaga, septembre 1845.

2^o *Plano*, etc. (Plan des limites des mines du Ravin-du-Roi dans la Sierra Alhamilla, province d'Almeria, par M. Manuel Reynante); 1 f. colombier. Malaga, 1843.

3^o *Plano*, etc. (Plan des concessions des mines du ravin du Jaroso et des mines adjacentes, par MM. J. M. et J. L. de Madariaga); 1 f. colombier. Malaga, 1842.

4^o *Plano*, etc. (Plan des mines comprises dans le ravin du Jaroso et de la Sierra Almagrera, province de Almeria); imprimé sur soie. 1842.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, nos 7—8.

L'Institut; 1847, nos 685—686.

Annales de l'Auvergne, t. XIX, novembre et décembre 1846.

The Athenæum, 1847; nos 1008—1009.

The Mining Journal, 1847; nos 600—601.

Neues Jahrbuch de Leonhard et Bronn; 1846, 7^e cahier.
— 1847, 1^{er} cahier.

Par suite de la correspondance, M. Alcide d'Orbigny présente à la Société 6 pl. in-folio de fossiles publiés en 1846 dans le *Voyage de l'Astrolabe* de M. Dumont d'Urville; ces planches contiennent, en dehors de quelques fossiles de transition, une série de coquilles des terrains crétacés du Chili et de Pondichéry. Quant aux fossiles de Pondichéry, pendant que M. d'Orbigny les publiait en France, M. Forbes les étudiait en Angleterre; il en résulte que les publications ont paru simultanément; et, en effet, il paraît que M. Forbes a communiqué son travail vers la moitié de 1846, mais il n'a paru qu'au commencement de 1847 dans les *Transactions de la Société géologique de Londres*. Ainsi, bien que M. d'Orbigny ait l'antériorité de publication, M. Forbes a eu celle de communication, et M. d'Orbigny se déclare tout prêt à abandonner ses dénominations pour adopter celles de M. Forbes, sauf toutefois discussion zoologique des espèces.

Les planches présentées par M. d'Orbigny contiennent deux séries de fossiles; les uns de l'île Quiriquina, au sud du Chili, et les autres des environs de Pondichéry, recueillis par M. Fontanier et envoyés en France depuis un grand nombre d'années. Ces fossiles appartiennent tous à la même époque contemporaine de notre étage turonien de France. Chacune de ces deux séries de fossiles présente non seulement des espèces communes aux deux localités, Pondichéry et Chili, mais encore des espèces identiques avec celles du même étage en France. On peut citer parmi celles-ci le *Nautilus Sowerbianus*, le *Baculites anceps*, la *Gervillia aviculoides*, la *Trigonia sinuata*, Park; le *Cardium caudatum*, le *Cardium Hillanum*. De plus, parmi ces espèces identiques, il y en a qui ne se sont rencontrées jusqu'à présent que dans la craie, comme celles appartenant aux genres *Avellana* et *Janira*, et même toutes les autres espèces ont des formes à peu près semblables aux nôtres. On remarque

néanmoins une forme nouvelle pour le terrain de craie, c'est une *Ovula* qui a été prise mal à propos pour une *Cypræa* par M. Forbes. Ces fossiles, comparés à quelques échantillons rapportés par M. Itier de l'île de Java, ont fourni à M. d'Orbigny la certitude, par l'identité des espèces de ces diverses localités, que le même dépôt se trouve à la fois sur les trois points.

Par suite de cette communication, M. de Verneuil fait remarquer qu'entre les terrains prétendus crétacés du Chili et ceux de Pondichéry, bien que M. d'Orbigny y ait trouvé des espèces identiques, il y a cette différence qu'au Chili ils paraissent former un passage vers le terrain jurassique, tandis qu'à Pondichéry ils se rapprocheraient des terrains tertiaires. En effet, M. Darwin a décrit toute la formation calcaire de la Cordillère du Chili comme renfermant en différents endroits, et notamment à Coquimbo, à Copiapo et à Guasco, des espèces jurassiques et crétacées associées dans les mêmes couches.

M. d'Orbigny répond aux observations de M. de Verneuil que les fossiles décrits par M. Darwin comme provenant du Chili appartiennent les uns à l'île de Quiriquina et les autres à la Cordillère de Coquimbo, points distants de 7 degrés au moins en latitude. Les fossiles de la première localité se trouvent au niveau de la mer, au pied occidental des Andes, et appartiennent bien, comme nous l'avons vu, à l'étage turonien de France; quant aux fossiles de Coquimbo, les uns appartiennent au terrain crétacé, les autres au terrain jurassique, à un étage qui rappelle le lias et caractérisé par une Gryphée voisine de la *G. arcuata*, et des Spirifères également voisins du *S. Walcotii*, Sow.

M. Dufrénoy rappelle à ce sujet que parmi des fossiles récemment envoyés à l'École des mines par M. Domeyko, et provenant du Chili, on remarque des Spirifères et des Térébratules d'un caractère jurassique non équivoque, et même des Gryphées arquées dont la forme spécifique ne saurait être douteuse; il ne subsiste donc plus aucune incertitude au sujet de l'existence réelle du terrain jurassique dans cette localité, et à M. Domeyko appartiendrait l'antériorité de la découverte, car depuis longtemps ce géologue a envoyé des fossiles de ces localités, en annonçant dès les premiers envois leur caractère

jurassique. Cette opinion ne fut pas d'abord partagée à l'École des mines ; mais un dernier envoi a tranché définitivement la question.

M. d'Orbigny confirme pleinement tout ce que vient de dire M. Dufrénoy : il rappelle même que déjà en 1842 M. Dufrénoy lui avait communiqué quelques uns des fossiles de M. Domeyko, et que ces fossiles furent publiés la même année dans la pl. XXII de la paléontologie de son voyage dans l'Amérique méridionale, avec indication positive de gisement jurassique.

Compte des recettes et des dépenses exécutées pendant l'année 1846 pour la Société géologique de France, présenté par M. DAMOUR, trésorier.

RECETTE.

DÉSIGNATION des chapitres de la recette.	Nos des articles.	NATURE DES RECETTES.	RECETTES prévues au budget.	RECETTES effectuées.	Augmentation.	Diminution.
§ 1. Produits ordinaires des réceptions. . .	1 2 3	Droits d'entrée. Cotisations { de l'année courante. . . des années précédentes. . .	500 » 10,000 » 800 »	752 50 9,684 » 757 10	252 50 » » » »	» » 316 » 42 90
§ 2. Produits extraord. des réceptions. . .	4 5	de l'année 1847. Cotisations une fois payées.	500 » 2,400 »	510 » 2,100 »	10 » » »	» » 300 »
§ 3. Publications. . . .	6 7 8 9 10 11	de Bulletins et abonnem. . . de Mémoires de cartes coloriées. Arriérages des Reutes sur l'Etat. . . Arriérages des Bons du Trésor. . . .	500 » 1,000 » 18 » 1,407 » 50 » 100 »	641 50 1,116 70 92 » 1,434 » 50 » 80 65	141 50 116 70 74 » 27 » » » » »	» » » » » » » » » » 19 35
§ 4. Rentrées divers. . .	12 13 14 15	Remboursement de frais de mandats. Recette extraord. relative au Bulletin. Recette extr. relative aux Mémoires. Intérêts de fonds placés (placement temporaire chez MM. Gouin et C ^e .)	25 » 493 50 » » » »	15 50 343 50 80 » 17 50	» » 150 » 80 » 17 50	» » » » » » » »
§ 5. Solde du compte précédent.	16	Totaux des recettes. Reliquat en caisse au numéraire. 31 décembre 1845. { Bons. Totaux de la recette et du reliquat en caisse.	17,493 50 958 25 2,000 » 20,451 75	17,674 95 953 25 2,000 » 20,633 20	869 20	687 75

COMPARAISON.

La Recette effectuée s'élève à 20,633 20

La Recette présumée était de. 20,451 75

L'excédant de la Recette réelle monte à 181 45

DÉPENSE.

DÉSIGNATION des chapitres de la dépense.	Nos des articles	NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES prévues au budget.	DÉPENSES effectuées.	Augmentation.	Diminution.
\$ 1. Personnel.	1	Agent { son traitement.	1,800 »	1,800 »	» »	» »
	2	travaux auxiliaires.	300 »	300 »	» »	» »
	3	Garçon de bureau { ses gages.	800 »	800 »	» »	» »
	4	gratification	100 »	100 »	» »	» »
\$ 2. Frais de logement.	5	Loyer, contributions et assurances. .	1,300 »	1,272 95	» »	27 05
	6	Chauffage et éclairage.	400 »	368 55	» »	31 45
\$ 3. Frais de bureau. .	7	Dépenses diverses	250 »	281 30	31 30	» »
	8	Ports de lettres.	400 »	324 65	» »	75 35
	9	Impressions, lithographies, avis et cir- culaires.	250 »	154 25	» »	95 75
\$ 4. Encaissements. . .	10	Change et retour de mandats	250 »	154 65	» »	95 35
	11	Mobilier.	100 »	89 45	» »	10 55
\$ 5. Matériel.	12	Bibliothèque.	500 »	159 95	» »	340 05
	13	Collections.	100 »	11 65	» »	88 35
	14	Bulletin { impression, planches, pa- pier, etc.	5,000 »	4,891 70	» »	108 30
\$ 6. Publications. . . .	15	affranchissement.	1,100 »	1,033 20	» »	66 80
	16	achat d'exemplaires.	2,000 »	2,010 »	10 »	» »
	17	indemnités et dépenses Mémoires { supplémentaires.	150 »	223 »	73 »	» »
	18	coloriage de cartes	» »	90 »	90 »	28 85
\$ 7. Placement de capi- taux	19	menus frais.	50 »	21 15	» »	372 15
\$ 8. Dépenses imprév..	20	Achats de rentes sur l'État.	2,400 »	2,027 85	» »	» »
	21	Avances de fonds remboursables. .	100 »	118 50	18 50	» »
			17,350 »	16,232 80	222 80	1,340 »

COMPARAISON.

La Dépense présumée était de. 17,350 »

La Dépense effectuée s'élève à. 16,232 80

La diminution de la Dépense réelle monte à. 1,117 20

RÉSULTAT GÉNÉRAL ET SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1846.

La Recette totale étant de. 20,633 20

Et la Dépense totale de. 16,232 80

Il reste en caisse audit jour. 4,400 40

MOUVEMENT DES COTISATIONS UNE FOIS PAYÉES ET DES PLACEMENTS DE CAPITAUX.

		NOMBRE DES COTISATIONS.	VALEURS.	
			fr.	c.
Recette {	antérieurement à 1846...	68	20,400	»
	pendant l'année 1846.....	7	2,100	»
Totaux.....		75	22,500	»
Legs Robertson.....			12,600	»
Total des capitaux en caisse.....			35,100	»
PLACEMENTS EN ACHATS DE RENTES 5 o/o.				
1,407 fr. de rentes achetées antérieurement à 1846....		33,002	10	} 35,029 95
84 fr. de rentes achetées pendant l'année 1846.....		2,027	85	
1,491 fr. de rentes. — Excédant de la recette sur la dépense.....				70 05

MOUVEMENT DES ENTRÉES ET DES SORTIES DES MEMBRES.

Au 31 décembre 1845, les membres maintenus sur les listes officielles comme devant contribuer aux dépenses de 1846 s'élevaient au nombre de. 475

Les réceptions, du 1^{er} janvier au 31 décembre 1846, sont montées à 52 }
 A déduire : les décès, démissions et radiations. . 26 } 26

Total des membres maintenus sur les listes au 31 décembre 1846. 501

Ainsi l'accroissement du nombre des membres, du 1^{er} janvier au 31 décembre 1846, est de 26.

M. Rozet lit le rapport suivant sur la gestion du Trésorier pendant l'année 1846.

Rapport sur la gestion du Trésorier pendant l'année 1846.

Ayant été chargés par le Conseil, MM. Angelot, Michelin et moi, d'examiner les comptes de notre Trésorier relativement aux recettes et dépenses de l'année 1846 et d'en rendre compte à la Société, nous avons l'honneur de vous présenter le résultat de cet examen.

RECETTE.

§ 1^{er}. *Droits d'entrée.* — Les droits d'entrée se sont élevés à 752 fr. 50 c., ou 252 fr. 50 c. au-delà des prévisions; mais ils présentent une diminution de 27 fr. 50 c. sur ceux de l'année précédente. Cette somme de 752 fr. 50 c. ne représente pas un nombre rond de droits d'entrée à 20 fr. par membre, par suite d'une différence de change.

Cotisations. — Cet objet, qui se subdivise en trois articles, était prévu au budget pour une somme de 44,300 fr., et l'on n'a reçu que 40,954 fr. 40 c., ce qui produit une diminution de 3,346 fr. 60 c., provenant principalement des retardataires sur l'année courante.

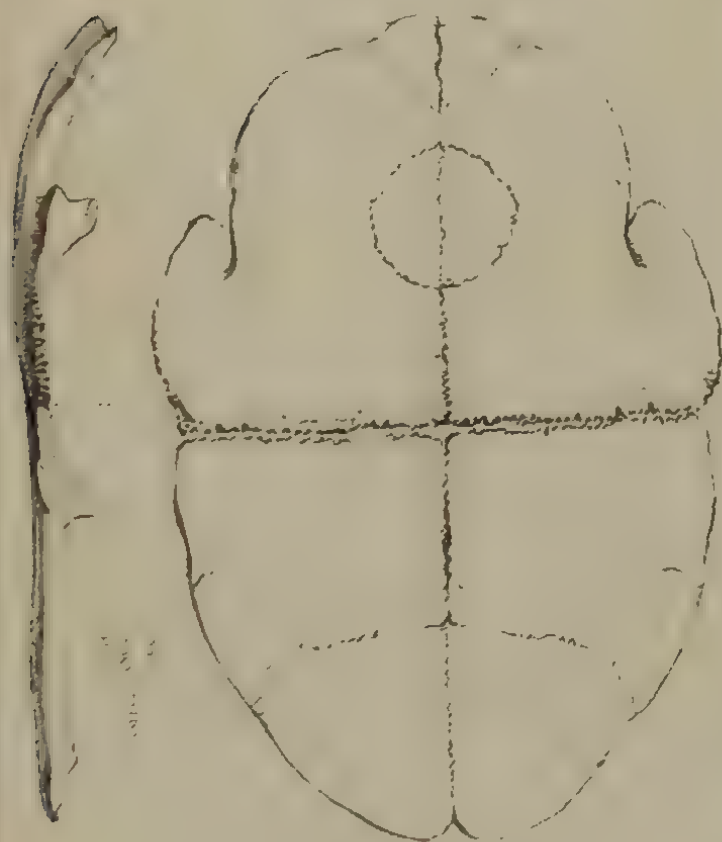
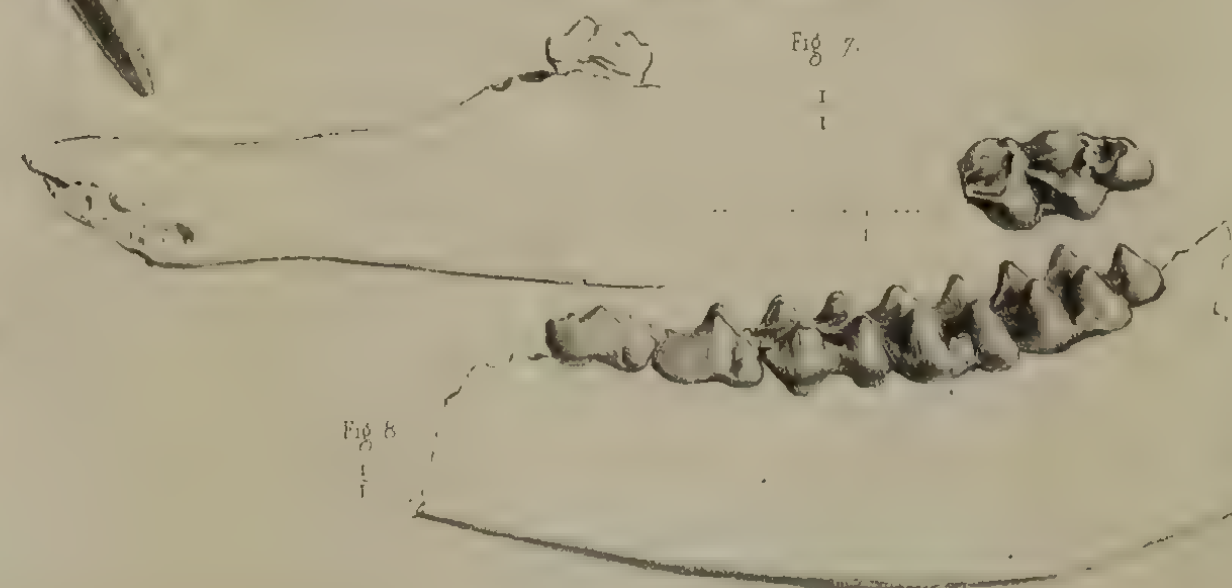
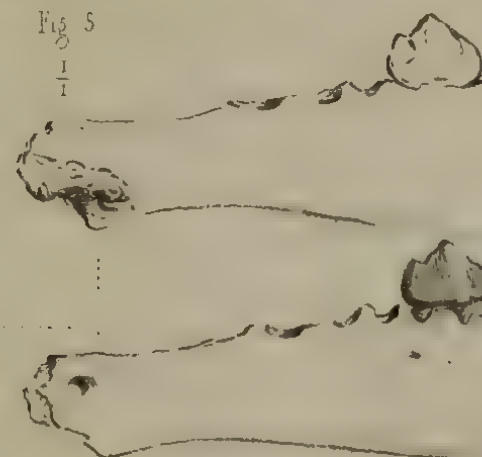
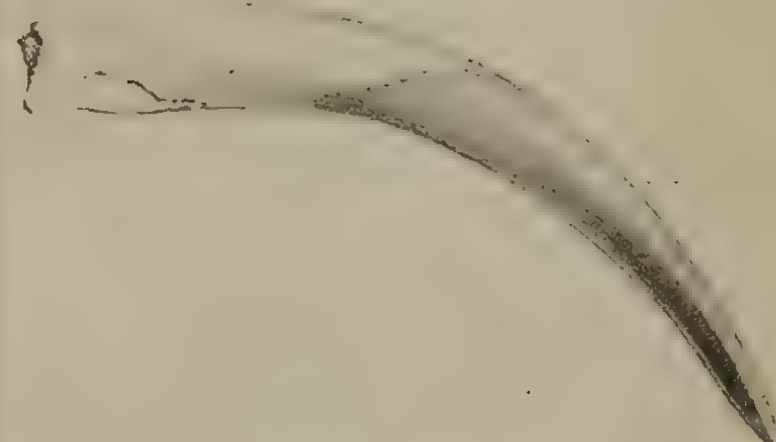
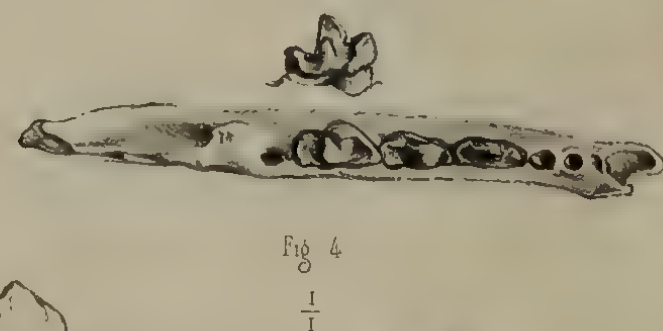
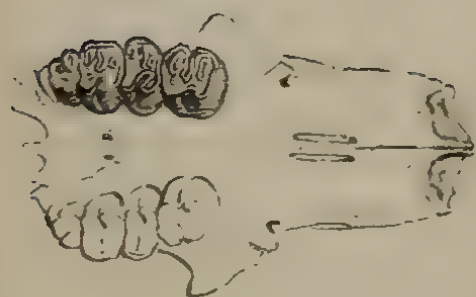
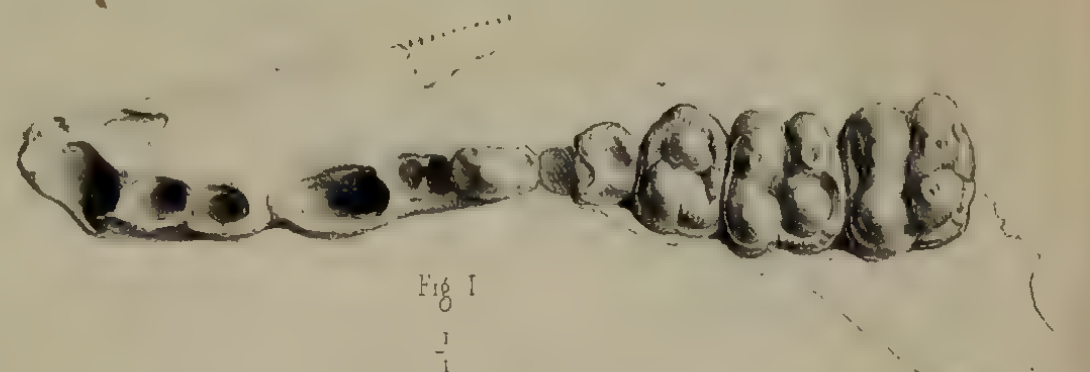
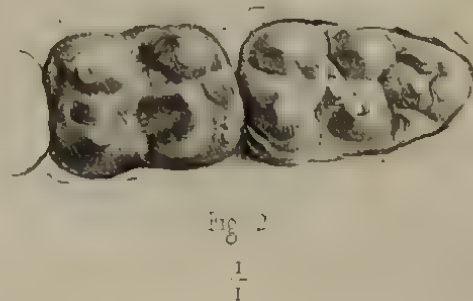
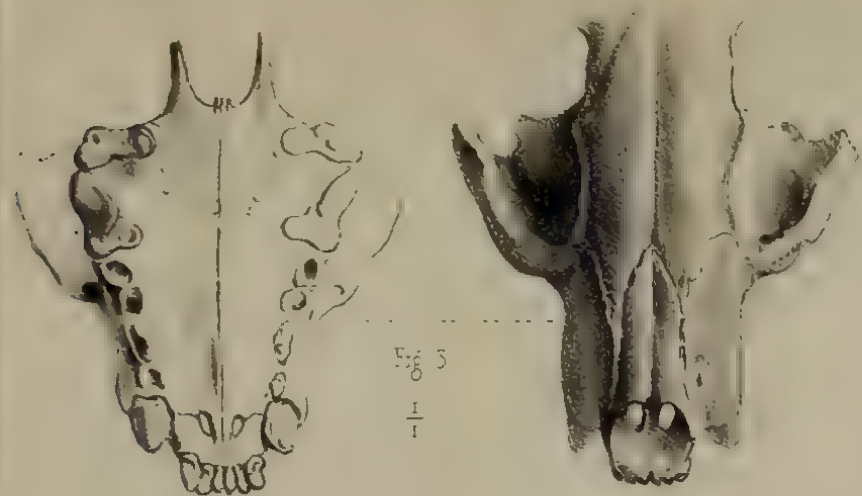
§ 2. *Cotisations une fois payées.* — Elles étaient prévues pour 2,400 fr., mais elles n'en ont produit que 2,400, ce qui est inférieur à la prévision d'une cotisation, et pendant l'année précédente l'augmentation avait été de 1,200 fr. sur la même somme par quatre cotisations.

§ 3. *Ventes des publications.* — Celle du *Bulletin* a dépassé de 141 fr. la prévision; celle des *Mémoires*, de 116 fr. 70 c.; et celle des cartes coloriées, de 74 fr. La vente des *Mémoires* figure cette année dans la recette pour une somme de 1,116 fr. 70 c., c'est le chiffre le plus élevé qui ait encore été obtenu; mais il faut dire aussi qu'il résulte de la vente des deux parties du t. I et de la première partie du t. II de la seconde série. Dans tous les cas, il montre que nos publications commencent à se répandre davantage, ce qui doit nous engager à les multiplier le plus possible.

§ 4. *Rentrées diverses.* — Les arrérages des rentes sur l'État ont éprouvé une augmentation de 27 fr. provenant du place-



Fossiles de l'Allier. (Note de M^r A. Pomel)



ment des cotisations une fois payées, qui se fait au fur et mesure des paiements.

Les bons du Trésor, qui figureront à l'avenir dans le budget comme sommes en caisse, ont donné un intérêt de 50 fr.

Les recettes imprévues ne se sont élevées qu'à 80 fr. 65 c.

Les remboursements de frais de mandats dont la prévision était de 25 fr., n'ont produit que 15 fr. 50 c.

Les recettes extraordinaires relatives au *Bulletin* offrent une augmentation de 150 fr., provenant du paiement, par deux membres, d'un supplément de frais occasionné par leurs publications, ce qui a produit une diminution de 108 fr. 30 c. sur les frais présumés de la publication du *Bulletin*.

Qu'il nous soit permis de faire remarquer ici que ce volume (III^e) renferme des Mémoires dont l'étendue dépasse de beaucoup celle des communications qui doivent être imprimées intégralement dans le Bulletin, et qu'elles n'auraient pas pu être admises sans une notable diminution de texte, si leurs auteurs n'avaient consenti à payer une partie des frais d'impression et de planches.

Nous voyons figurer dans la recette une somme de 80 fr., comme recette extraordinaire relative aux *Mémoires*. Cette somme a été payée par notre ancien agent pour couvrir des frais occasionnés par un oubli de sa part.

Enfin, les fonds déposés temporairement à la caisse Gouin ont donné un intérêt de 17 fr. 50 c.

En résumé, les augmentations importantes de la recette portent sur les droits d'entrée, la vente du *Bulletin*, celle des *Mémoires*, des cartes coloriées, et des frais extraordinaires relatifs à des publications faites dans le *Bulletin*. Les diminutions, qui n'ont pas d'importance, sont principalement relatives aux cotisations annuelles et une fois payées, dont une partie sera certainement couverte par des rentrées ultérieures.

En total, l'excédant de la recette réelle sur la recette présumée est seulement de 181 fr. 45 c.

DÉPENSES.

§ 1^{er}. *Personnel*. — Les dépenses de ce paragraphe, relatives
Soc. géol., 2^e série, tome IV.

au personnel de la Société, ne présentent aucune augmentation ni diminution.

§ 2. *Frais de logement.* — Les dépenses relatives au loyer et aux contributions de toute espèce offrent une diminution de 27 fr. 05 c. sur les prévisions, et celles de chauffage et éclairage une économie de 31 fr. 45 c.

§ 3. *Frais de bureau.* — Les dépenses diverses ont augmenté de 31 fr. 30 c., mais il y a eu une diminution de 75 fr. 35 c. sur les ports de lettres, de 95 fr. 75 c. sur les impressions, avis et circulaires.

§ 4. *Encaissements.* — Les changes et retours de mandats n'ont coûté cette année que 154 fr. 65 c., ce qui donne une économie de 95 fr. 35 c. sur la dépense présumée.

§ 5. *Matériel.* — Vous aviez voté une somme de 100 fr. pour le mobilier, il n'a été dépensé que 89 fr. 45 c. La bibliothèque pouvait disposer d'une somme de 500 fr., elle n'a employé que 159 fr. 95 c. Nous engageons l'archiviste à employer la totalité de la somme qui lui est allouée par le budget de 1847 à des reliures réclamées pour la conservation d'un grand nombre d'ouvrages, et au collage des cartes, qui seraient bientôt perdues si on continuait à les consulter dans l'état où elles sont. Une somme de 100 fr. était destinée aux collections, il n'a été dépensé que 11 fr. 65 c. C'est un article qu'il faut néanmoins continuer à laisser figurer dans le budget.

§ 6. *Publications.* — 49 feuilles d'impression du III^e volume de la 2^e série du *Bulletin* ont été distribuées aux membres, et il reste encore 108 fr. 30 c. sur les 5,000 fr. votés pour cet objet, et cela par les raisons que nous avons données plus haut.

L'affranchissement du *Bulletin* n'a coûté que 1,033 fr. 20 c., au lieu de 1,100 prévus.

L'achat des *Mémoires* s'est élevé à 2,010 fr., c'est-à-dire à 10 fr. au-dessus de la prévision.

Une somme de 150 fr. avait été affectée à des indemnités et suppléments pour la publication des *Mémoires* : cette dépense s'est élevée à 313 fr., dont 90 fr. pour coloriages de cartes demandés par les membres, qui les ont payés, et 73 fr. pour les frais d'un tirage supplémentaire.

§ 7. *Placement de capitaux.* — Il a été placé sur l'État une somme de 2,027 fr. 85 c., ce qui présente une diminution de 372 fr. 15 c. sur la somme de 2,400 fr. présumée.

§ 8. *Dépenses imprévues.* — Enfin, les avances de fonds remboursables ont dépassé de 18 fr. 50 c. la somme de 100 fr. à laquelle elles avaient été évaluées.

En résumé, la dépense présumée était de	17,350 fr. » c.
la dépense effectuée a été de	16,232 80

Il y a donc eu sur la dépense une diminu- tion de.	1,117 fr. 20 c.
---	-----------------

Les économies portent principalement sur les dépenses de la bibliothèque, l'impression du *Bulletin*, les impressions diverses, les changes et retours de mandats, et sur les frais des collections.

Balance et résultat définitif.

La recette totale s'est élevée en 1846 à	20,633 fr. 20 c.
--	------------------

La dépense a été de.	16,232 80
------------------------------	-----------

Il restait en caisse au 1 ^{er} janvier 1847. .	4,400 fr. 40 c.
---	-----------------

L'état financier actif de la Société se composait donc, au 1^{er} janvier 1847, de 1,491 fr. de rentes 5 p. 100 sur l'État, qui ont coûté à la Société une somme 35,029 fr. 95 c.

Et une somme de 4,400 fr. 40 c. restant en caisse, représentée par des espèces métalliques, des bons du Trésor et des bons de la caisse Gouin.

Au 31 décembre 1845 le nombre des membres maintenus sur les listes officielles était de.	475
---	-----

Les réceptions, du 1 ^{er} janvier au 31 décembre 1846, se sont élevées à.	52	} 26
Les démissions, décès et radiations.	26	

Le nombre des membres maintenus sur les listes, au 31 décembre 1846, est donc de.	501
--	-----

Nous avons donc obtenu un accroissement réel de 26 membres pendant l'année qui vient de s'écouler.

Ainsi, messieurs, l'état prospère de notre Société s'est notablement accru, ce qui doit être attribué à la bonne administration, au zèle et à l'activité de notre Trésorier, qui a su continuer l'excellente méthode de ses prédécesseurs, et enfin à l'augmentation de nos publications, qui sont arrivées au point de pouvoir tenir au courant des progrès de la science les géologues de toutes les contrées de la terre.

Nous avons donc l'honneur de vous proposer, messieurs, d'approuver les comptes de notre Trésorier, et de le déclarer quitte et déchargé de la responsabilité de sa gestion pour l'année 1846.

Paris, 1^{er} mars 1847.

V. F. ANGELOT, H. MICHELIN, ROZET, *rapporteur*.

A la suite de cette lecture, quelques observations sont échangées entre différents membres sur les moyens qu'il y aurait de rendre la publication du *Bulletin* de plus en plus utile.

M. Boubée proposerait de joindre au compte-rendu ordinaire des séances des analyses ou même une revue périodique des Mémoires et ouvrages géologiques les plus importants publiés à l'Étranger.

Quelques membres font observer qu'un pareil travail ne pourrait évidemment pas être mis à la charge seule des secrétaires, qui, du reste, sont déjà chargés de publier à la fin de chaque année un bulletin bibliographique répondant en partie aux besoins du moment.

M. d'Omalus d'Hallooy ajoute que ce bulletin bibliographique, n'arrivant qu'une fois l'an, ne remplit peut-être pas complètement le but qu'il pourrait atteindre s'il était publié à intervalles plus rapprochés. Les sciences géologiques marchent rapidement, et tel ouvrage, tel Mémoire qui peut avoir aujourd'hui l'importance de l'actualité, et sous ce rapport devrait être porté immédiatement à la connaissance du public, pourra perdre, avec le temps, une partie de l'intérêt qu'il avait d'abord, et devenir même suranné au bout de quelques mois, de quelques semaines peut-être, par suite de nouveaux travaux, de nouvelles découvertes.

M. Rozet proposerait de faire un appel officiel au bon vouloir de chaque membre.

M. Élie de Beaumont rappelle, à ce propos, que tout membre est libre d'envoyer, de lire, de déposer sur le bureau des analyses de travaux qu'il aura crus importants; les Secrétaires ou la Commission du *Bulletin* décident ensuite sur le choix de ces analyses.

Enfin, M. le Président répond à toutes ces observations qu'à côté de la question d'utilité doit être placée la question d'argent : évidemment une revue des travaux géologiques, publiée en dehors des travaux habituels de la Société, aurait une utilité très grande, surtout pour les membres éloignés des bibliothèques publiques et des grands centres scientifiques; mais jusqu'à quel point la Société serait-elle prête à subvenir aux frais d'une semblable publication? La question d'argent est donc ici trop grave, et elle ne peut être résolue en séance de la Société; en conséquence elle sera renvoyée à la décision du Conseil.

Note sur le calcaire pisolitique, par M. Hébert.

J'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société quelques échantillons de fossiles appartenant au terrain désigné sous le nom de calcaire pisolitique, et en dernier lieu de terrain danien par M. Desor. Ces échantillons sont dans un état de parfaite conservation; les formes, les ornements mêmes des espèces dont ils présentent les empreintes ou les moules, y sont reproduits sans la plus légère altération. Jusqu'ici les localités où l'on a pu observer ce terrain, Laversine, Bougival, Port-Marly, Meudon et Vigny, n'avaient donné que des débris mal conservés. Il y a quelques jours, en parcourant les limites du dépôt du calcaire grossier, entre Houdan et Meulan, j'ai rencontré dans la vallée de la *Mauldre*, près d'un petit hameau, situé à 4 kilomètre de *Mareil*, et nommé *Falaise*, une roche d'une vingtaine de pieds d'élévation et d'une étendue à peu près égale en longueur, qui me parut appartenir au calcaire pisolitique. Cette roche, dont voici un échantillon, contenait, en effet, en abondance une petite Lime semblable à celle de Laversine, et ses caractères minéralogiques favorisaient ce rapprochement; mais il n'y avait guère d'autres fos-

siles reconnaissables que cette Lime. Je me suis assuré depuis qu'un échantillon de cette même localité avait été déposé en 1841 dans la galerie de géologie du Muséum par M. Raulin. Je ne tardai point à apercevoir de l'autre côté de la vallée, et au même niveau, un amas de rochers, les uns en place, les autres éboulés, que de près je reconnus immédiatement pour un calcaire identique à celui de Vigny. L'épaisseur de ces couches y est à peu près la même qu'à Vigny, 25 mètres au moins. La roche est plus compacte qu'à Vigny; les fossiles y sont moins encroûtés et les empreintes qu'ils ont laissées ont en général une netteté admirable.

Dans les échantillons que j'ai rapportés on remarque :

1^o Un fragment de ce fossile Turriculé, désigné fort improprement sous le nom de *Cerithium giganteum*. D'autres échantillons que j'ai placés ici sous vos yeux, et qui viennent de Laver-sine et de Vigny, rendront évident pour tout le monde que c'est une espèce tout à fait distincte et nouvelle; c'est d'ailleurs l'opinion de M. Deshayes.

2^o Des empreintes de Cérîtes et de Nérinées, qui ont des ressemblances soit avec le jeune de la grande espèce de Cérîtes de Maëstricht, soit avec la *Nerinea Marrotiana* (d'Orb.) de la craie supérieure de Royan. Dans tous le cas on peut affirmer que ces empreintes n'appartiennent à aucune espèce connue du calcaire grossier.

3^o Un Oursin du genre *Hemiaster*, que M. Desor regarde comme étant très voisin de l'*H. inflatus*. Cette espèce établie sur un échantillon unique du Muséum, et dont l'origine est inconnue, ne nous fournit aucun renseignement nouveau.

4^o Une Pleurotomaire, voisine du *P. royana* (d'Orb.), de la craie supérieure de Royan, et paraissant identique avec un échantillon de la collection de M. Deshayes, et qui vient de la craie supérieure de Valognes. J'ajouterai que les caractères minéralogiques de cette craie de Valognes, à en juger par cet échantillon, l'identifient avec le calcaire de Vigny et de Falaise.

5^o Plusieurs empreintes très nettes et très complètes de Mollusques acéphalés, dont pas une n'appartient à une espèce tertiaire.

6^o Des Polypiers parmi lesquels il y en a un identique avec celui figuré par Goldfuss sous le nom d'*Astrea arachnoides* (craie de Maëstricht). M. Michelin a bien voulu me donner la conviction de cette identité, et par son avis, et par l'examen comparatif que j'ai pu faire dans son cabinet d'un échantillon venant de Maëstricht avec le mien.

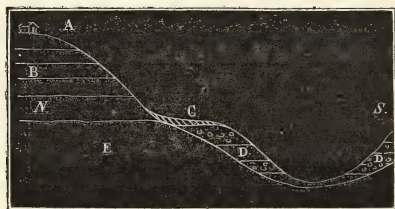
Je présente ces échantillons comme une preuve nouvelle de l'exactitude de l'opinion émise en 1834 par M. Élie de Beaumont sur l'identité du calcaire de Laversine et de Vigny avec la craie de Maëstricht. Cette opinion, fortifiée par les observations de M. Graves sur les fossiles de Laversine, et par celles de M. Desor sur un *Cidarites* de Vigny (*Cidarites Forchhammeri*, Desor), qu'il a retrouvé dans le calcaire de Faoë, rapporté par lui et par M. Deshayes au même horizon géologique, me paraît aujourd'hui généralement admise.

Le seul point qui serait peut-être encore contesté par quelques personnes serait la réunion du calcaire de Vigny et des couches observées à Port-Marly, Bougival et Meudon. Qu'il me soit permis d'ajouter un mot sur ce sujet. J'ai visité ces localités pour la première fois avec M. Élie de Beaumont, j'y suis retourné seul, et enfin j'ai eu le plaisir de conduire récemment MM. Graves et Desor à Vigny, à Port-Marly et à Bougival. A Port-Marly nous avons constaté l'identité des couches inférieures avec le dépôt de Vigny et de Laversine; ces couches inférieures reposent immédiatement sur la craie blanche, mais la surface de contact est nette et tranchée. La couche supérieure est brisée, démantelée, et ses débris sont de toutes parts enveloppés d'argile plastique. Une grande partie de ces débris sont des blocs alignés, formant presque une couche continue. Ces blocs ont un autre aspect que le reste du dépôt. Ils n'ont plus l'apparence crayeuse; ils ressemblent davantage à du calcaire compacte. A Bougival, la partie inférieure manque, comme manquent aussi les couches supérieures de la craie. Celles-ci, aussi bien que le calcaire de Port-Marly, ont été bouleversées; mais l'identité des débris a pu être facilement constatée, sans qu'un seul doute ait pu subsister dans l'esprit d'aucun de nous. J'avais personnellement la conviction que ces blocs de calcaire compacte, à texture cristalline, qui entrent à Bougival dans la composition du ciment hydraulique, n'étaient que la représentation des couches supérieures de Vigny, dont je dépose un échantillon, lesquels sont là bien en place, et qui ont exactement la même texture; mais ces messieurs n'ont pas tardé à y remarquer les mêmes fossiles que dans les couches inférieures, et entre autres les mêmes polypiers caractéristiques, et dès lors il ne fut plus question de distinction entre ces diverses couches. Il en est de même de Meudon, dont le calcaire dit pisolitique n'a jamais été séparé par personne de celui de Bougival.

D'après la disposition de ce calcaire dans la vallée de la Mauldre,

à Vigny, et en divers points de la vallée de la *Seine*, il me semble prouvé aujourd'hui qu'il s'est déposé en couches horizontales, qui s'étendent à l'O. de Paris, sous les bois de Meudon, de Saint-Cloud, la forêt de Marly, celle des Alluets, et sous les plaines de calcaire grossier qui séparent Vigny de Meulan.

Il se pourrait aussi que Vigny fût une des limites N. de ce dépôt, et Falaise une des limites S.-O. Nous avons, en effet, MM. Graves, Desor et moi, constaté qu'à Vigny le calcaire pisolitique est adossé au N. contre la craie, et, bien que le sol ne soit point entamé de manière à faire voir nettement la superposition, je pense que je ne m'écarterai pas beaucoup de la vérité en donnant pour cette localité la coupe suivante, dans laquelle les hauteurs sont beaucoup exagérées proportionnellement aux longueurs.



- A La comté de Vigny.
- B Calcaire grossier.
- C Argile plastique.
- DD Calcaire pisolitique.
- E Craie.

Au S., au contraire, nous pensons que ce dépôt, que nous avons retrouvé de l'autre côté de la vallée, pourrait bien rejoindre de ce côté la portion que la vallée de la Mauldre a mise à découvert.

Dans cette vallée, quelque chose de tout à fait analogue se présente. Du côté de Beyne, la craie paraît être plus élevée que le dépôt de calcaire pisolitique, tandis que ce dernier passe évidemment de l'autre côté de la vallée, sur la rive droite de la Mauldre, sous le calcaire grossier, pour aller, sans aucun doute pour moi, sous la forêt des Alluets, sous la forêt de Marly et les bois de Meudon, rejoindre les dépôts observés dans cette partie de la vallée de la Seine. Toutefois, à cause des ondulations de la craie qui ne paraît pas avoir, même aux portes de Paris, été entièrement sous les eaux lors de ce dépôt, et des ravages causés par l'éruption violente qui a accompagné la période tertiaire, la continuité peut ne pas exister dans cette étendue.

On a signalé le calcaire pisolitique en plusieurs autres points du bassin de Paris, à Montereau, aux environs d'Épernay et de Sézanne. N'ayant pu étudier ces localités par moi-même, je m'abstiendrai d'en parler (1).

M. Desor a proposé de substituer le nom de terrain Danien à celui de calcaire pisolitique. Je trouve comme lui que rien n'est moins pisolitique que les 80 pieds d'épaisseur du calcaire de Vigny et de Falaise. Je pense aussi qu'il vaut mieux emprunter les noms des terrains à la géographie qu'aux caractères minéralogiques. Toutefois, comme ce n'est point en Danemark que ce terrain paraît présenter le plus de développement, que ce n'est point là que les relations avec les couches entre lesquelles il est compris paraissent les plus claires, je ne puis m'empêcher d'espérer une dénomination plus satisfaisante et de regarder comme provisoires celles qui ont été proposées jusqu'à ce jour.

M. Constant Prévost, à la suite de cette lecture, rappelle que des dépôts analogues à ceux de Bordeaux, de Vigny et de Meudon, paraissent exister sur une plus grande échelle à la ceinture E. des terrains tertiaires parisiens, de Reims à Montereau (Mont-Aimé, plateau de la Madelaine, etc.). Il demande si M. Hébert a constaté l'identité de ces dépôts avec ceux qu'il a décrits; il fait observer, en thèse générale, qu'il y aurait des inconvénients à se hâter de donner un nom spécial à un terrain encore peu connu, et qui pourrait n'être qu'un membre des terrains supérieurs ou inférieurs.

Au sujet du travail de M. Hébert et par suite de la discussion, qui n'a fait que soulever de nouvelles incertitudes relativement au terrain pisolitique des environs de Paris, M. Rozet s'élève fortement contre l'abus que l'on a fait dans ces derniers temps des caractères empruntés aux fossiles pour la détermination de l'âge des terrains. Les fossiles n'ont qu'une valeur tout-à-fait secondaire; en général, il faut se méfier beaucoup des détermi-

(1) Depuis que cette communication a été faite, j'ai vu chez M. Duval, pharmacien, barrière d'Italie, des échantillons recueillis par lui au Mont-Aimé près Sézanne. Ces échantillons appartiennent évidemment au calcaire pisolitique; ils renferment les mêmes fossiles qu'à Vigny et à Falaise; ils ont aussi la même structure concrétionnée.

nations paléontologiques ; il prend pour exemple le *Cerithium giganteum*, fossile regardé comme caractéristique de certaines couches du calcaire grossier, et que cependant on cite dans le terrain pisolithique.

M. Paillette fait la communication suivante :

Messieurs,

M. Pernollet, directeur des usines de Poullaouen, a inséré dans le tome IX de la 4^e série des *Annales des mines*, 1^{re} livraison de 1846, un Mémoire ayant pour titre : *Notes sur les mines du midi de l'Espagne*.

Ce Mémoire, que l'auteur a continué plus tard (5^e livraison de 1846), et qui est le résultat d'une course très rapide faite en Espagne durant l'été de 1845, réunit une grande quantité de faits assez intéressants. Il a été néanmoins jugé sévèrement par tous les ingénieurs espagnols ou étrangers qui depuis plusieurs années parcourent avec soin cette contrée si remarquable de la Péninsule ibérique. — Les faits géologiques, minéralogiques et statistiques n'y étant pas exprimés nettement, on aurait pu, et on voulait même publier un travail complet de rectification. Il aurait eu l'inconvénient d'insérer dans les *Annales des mines*, à peu de mois de distance, des idées en partie contradictoires. — J'ai donc cru de mon devoir de résumer les principaux griefs reprochés à M. Pernollet pour les présenter à la Société géologique de France, qui compte parmi ses membres plusieurs savants ingénieurs espagnols. — La partie de l'Espagne que M. Pernollet a parcourue n'est point inconnue, comme il le dit. M. Hausmann d'abord, puis M. Le Play, ingénieur en chef des mines, en ont déjà parlé. Moi-même j'en ai dit quelques mots à la suite d'une excursion opérée dans un but tout spécial. Mais ceux qui s'en sont occupés le plus minutieusement sont MM. Ramon Pellico, Amalio Maestre, Ezquerra, Casiano de Prado, et autres ingénieurs, dont on trouve les Mémoires dans les *Annales des mines espagnoles*, dans des ouvrages particuliers et dans le *Bulletin* officiel de ce pays. Un autre jeune ingénieur de talent, don Jose Monasterio, a pris à tâche d'étudier la partie historique des fonderies de l'antiquité.

Ce que je dirai aujourd'hui sera, par conséquent, le résumé de ce que tant de personnes zélées m'ont communiqué, et de ce que j'ai vu moi-même dans trois voyages successifs, à Carthagène, en

Sierra Almagrera, Sierra de Gador, Murcie, etc., voyages auxquels j'ai consacré, à différentes époques, un temps considérable, trop court néanmoins, comparativement à celui qu'ont sacrifié à l'exploration de ces contrées les ingénieurs du pays.

Constitution géologique de la contrée.

Les caractères principaux du littoral d'Almeria, d'Adra, que je n'avais fait qu'esquisser, ont été mieux décrits et complétés par MM. Ramon Pellico et Amalio Maestre dans un Mémoire que j'ai traduit, et qui a été inséré dans les *Annales des mines* (tome II, 4^e série, année 1842). Depuis, les exploitations s'étant multipliées ou approfondies, il a été plus facile de vérifier certains faits qui paraissaient douteux vers l'année 1839. Il ne faut donc pas revenir sur ce qui a été relaté antérieurement. Contentons-nous de dire, avec M. Amalio Maestre, que le prolongement de la Sierra Almagrera, au-delà de la petite plaine du Pilar de Jaravia, forme une autre chaîne de montagnes qui marche approximativement vers le N.-E., laissant au N. ce qu'on nomme dans le pays la plaine de Lorca, limitée elle-même, vers le N., par les Cordilières de Murviedro et de Carascoy. Elle finit par Fontana, aux montagnes de Murcie et de Carthagène. — Dans la direction du S. se trouve El Campo de Aguilas, limitée par la Méditerranée, et, vers l'E., le Lomo de Bas, étrier ou contrefort qui, se détachant de la masse principale, atteint les bords de la mer. — Un autre chaînon se sépare, 7 lieues plus loin, du même groupe, et se termine non loin de Carthagène, dessinant dans l'entre-deux de ces montagnes le Campo de Mazarron. — Plus loin encore, la côte est bordée vers l'E. par une nouvelle série de hauteurs, qui ne s'arrête qu'au cap de Palos. La direction de ce système n'est pas bien marquée, par suite de dislocations postérieures à son premier soulèvement, dislocations qui probablement, et dans des temps assez modernes, ont occasionné en même temps la formation d'une mer intérieure, connue sous le nom de *Mar menor*, et qui n'est séparée de la Méditerranée que par une langue de sable, n'atteignant pas souvent 200 varas (168 mètres) de largeur. — Le lac salé de Mar-menor a pourtant 5 lieues de longueur sur 3 de largeur. — Toutes ces montagnes ont en général une composition analogue à celle que M. Pernollet a indiquée dans son Mémoire. Nous ferons observer toutefois que parmi les schistes argilo-talqueux ou argilo-micacés, les couches qui fournissent la Launa, et que M. Pernollet signale (page 36,

1^{re} partie) comme des décompositions superficielles, pénètrent si profondément dans la terre, qu'on ne saurait admettre la manière de voir de cet ingénieur. — Le calcaire bleu sombre ou noirâtre, qui occupe dans cette région de l'Europe une place si importante, et que M. Pernollet (page 87, 1^{re} partie) désigne sous le nom de calcaire métallifère, n'est pas non plus aussi dépourvu de fossiles qu'il le dit. J'ai vu à plusieurs reprises des rudiments d'Orthocères dans les carrières des environs de Carthagène. Mais un fait qui n'a échappé à personne, ce sont les plaques de la porte appartenant à la maison où demeurerait le général Requena, Calle de San Cristoval. On y reconnaît la présence des Orthocères (*giganteus* ou *lateralis*, selon M. Maestre), dont l'une devait atteindre plus de 80 centimètres de longueur. — Cette particularité, rapprochée de ce qui paraît exister dans le Missouri et l'Illinois, d'où M. Ed. de Verneuil a rapporté de si belles orthocères à siphon latéral, m'engage à faire du calcaire à métaux de la côte orientale de l'Espagne un équivalent géologique. — Je crois qu'il est et sera longtemps difficile de se prononcer sur la véritable nature et l'âge de la roche verte signalée (page 48, 1^{re} partie) par M. Pernollet. Elle paraît être souvent une véritable amphibolite serpentineuse ou une vraie serpentine, comme au *Barranco de San Juan*, près Grenade. Ailleurs, elle se charge de feldspath (Sierra Alhamilla), tandis que dans d'autres localités elle affecte une texture schistoïde et un faciès presque impossible à caractériser. Peut-être est-ce elle encore qui, sous forme de diorite, se montre aux environs de Malaga, où quelques gîtes de plomb peu étendus ont été exploités anciennement dans une position presque identique à celle des gîtes de Sierra de Gador. Cette roche a dû jouer un rôle au moins aussi important que les porphyres dont parle M. Pernollet, ceux signalés il y a déjà longtemps par MM. Pellico et Maestre, et d'autres qu'a indiqués ce dernier ingénieur dans les environs de Sierra de Gador, près des fonderies La Maria et de l'Algive del Vicar. Elle se retrouve encore, avec des caractères serpentineux, en Sierra Alhamilla, et très chargée d'asbeste, dans le ravin de Castala, sur le chemin de Berja aux mines de Sierra de Gador.

Des gîtes plombeux.

M. Pernollet, avec tous les ingénieurs qui depuis 1840 et 1841 ont revu les mines de la partie de l'Espagne dont il est ici question, annonce deux séries de gîtes perpendiculaires les uns aux autres, et

considère presque tous les gisements voisins du calcaire comme des espèces de filons - couches, ou des couches dont les parties riches occupent des espaces irréguliers. Moi aussi j'avais cru pouvoir revenir sur mes premières idées, qui étaient celles de M. Le Play. Mais, en vérité, si je rapproche tous les faits, je crois qu'il y a beaucoup à dire pour et contre cette opinion partagée par plusieurs ingénieurs espagnols très distingués. N'a-t-on pas vu dans le même calcaire, vers Benhaduz, des gîtes plombeux, sortant de la manière d'être des belles nappes plombeuses que M. Maestre a déterminées, non seulement dans un *Mémoire que j'ai sous les yeux*, mais encore sur une carte de Sierra de Gador, tracée par lui avec un soin particulier et qu'il a bien voulu me communiquer? — N'a-t-on pas vu des gîtes près ou dans le calcaire affecter une forme filonienne? — Il me semble que, avant de se prononcer sur un fait aussi important et duquel peut dépendre la nature des recherches futures de Sierra de Gador, il sera bon d'attendre des études plus complètes, déjà entamées par les ingénieurs espagnols, et des rapprochements avec d'autres gîtes analogues qui ne tarderont pas à paraître. Si la disposition des métaux en couches par amas, en veines ou faux filons de Sierra de Gador, paraît difficile à expliquer, que dira-t-on de ces gîtes plombeux du Missouri et de l'Illinois, dont l'existence au milieu de couches peu inclinées offre tant de ressemblance avec un dépôt de minerai de plomb, qui se serait fait dans des grottes ou cavernes? — Rappelons, en passant, les masses de plomb carbonaté trouvées en Sierra de Gador (San Adriano, Santa Rita, etc.). N'oublions pas non plus les rognons de galène découverts et exploités par les hardis mineurs des Alpuxaras dans un terrain d'alluvion, ou peut-être même tertiaire, au milieu du grand Barranco ou ravin du revers oriental de Sierra de Gador; et surtout ne laissons pas se perdre l'observation générale de tous les géologues qui, depuis Hausmann, ont visité le littoral d'Almérie et de Carthagène; je veux parler de la difficulté à reconnaître la stratification du calcaire bleu-noirâtre et des brèches, difficultés confessées par M. Pernollet. — Quant aux gîtes minéraux, considérés comme de véritables filons par quelques personnes, problématiques pour d'autres, je ne saurais les attribuer au phénomène qui a produit les gisements dits en couches, ni assimiler ceux d'Almazarron entre eux ou avec ce que j'ai observé dans la Sierra Almagrera. Je ne suis pas non plus en cela d'accord avec M. Pernollet, qui (page 85 de la 2^e partie) voudrait ne pas séparer les gîtes d'Almazarron des couches plombeuses. — Je ne doute même

pas que si M. Pernollet avait eu sous les yeux un autre plan d'Almagrera que celui qui a été si mal imprimé sur un mauvais foulard, et que s'il eût examiné avec attention ceux que je présente à la Société, publiés à l'époque du voyage de cet ingénieur, une personne aussi distinguée que lui n'eût tiré des conclusions d'une nature toute différente. — Nous voyons, en effet, sur le plan-foulard, le filon du Jaroso, *composé de deux veines parallèles*, ne pas dépasser la concession de la Esperanza, tandis qu'en 1842 et en 1843, les ingénieurs signalaient des ramifications ou bifurcations dans la Pertenencia de las Animas. A la même époque, la partie métallifère de la Virgen del Mar était découverte et on extrayait aussi des métaux à la Regla et dans d'autres veines ou filons.

En résumé, dès l'été de 1845 on connaissait à l'E. du Barranco del Jaroso la veine de *N. S. de las Angustias* dans celui de la Raja, veine dont la direction est du N.-O. au S.-E. La veine de *San-Jinès*, *San-Antonio*, *Maravillas* et *Misericordia*, découverte avec une direction parallèle au Jaroso sur une butte entre le ravin de la Raja et la Rambla, qui débouche à la Boca Maïrena, et la veine de *la Impensada* dans la Cala del Cristal. A l'O. on avait tracé les veines de *San-Francisco*, de *las Ninas*, de *Santa-Luisa*, de *la Virgen de Piedad*, de *San-Antonio de Padua*, de *la Regla* et *Pertenencias*, voisines de *Nova-Santa-del-Carmen*, et *Suerte del Hombre*, *Suerte Vista-Eloisa*, etc., etc., toutes indiquées en direction et inclinaison sur les plans que je présente à la Société. — Un filon qui a dû, en d'autres temps, mériter l'attention des mineurs est celui de Sotarraes ou Cuatro Mudos, que les Romains ont attaqué et exploité à l'aide d'une galerie d'écoulement et de roulage, parfaitement droite et longue de 600 pas. Cette galerie débouchait dans le Barranco del Frances, et permettait de conduire les mine-raï vers les rives du Rio Almanzorra, près duquel on a reconnu d'énormes tas de scories, et près duquel aussi était bâti l'antique Urci (1). — Malgré cette multitude de veines minérales ou filons, on ne saurait dire que la Sierra Almagrera continue à fournir de brillants résultats. L'eau se présente déjà dans l'une des mines riches, et ailleurs le fer carbonaté spathique (argentifère il est vrai,

(1) J'ai vu, à l'inspection des mines de Lorca et chez divers particuliers, non seulement des outils, des monnaies, des saumons de plomb avec les initiales connues du peuple romain, mais encore les restes d'un chariot, une main en marbre blanc d'une délicieuse forme, des fragments de statues, et des frises, tous aussi en marbre de belle qualité.

mais à une faible teneur), a remplacé les anciens minerais del Jaroso. — Ainsi aujourd'hui on ne trouverait plus exactement la classe de minéraux que M. Pernollet n'indique pas plus qu'il ne les a vus, les phosphates, les arsénates et les antimoniates de plomb (p. 75 de son mémoire), qui étaient cependant très abondants à l'origine de la découverte. En 1841, 1842 et 1843, il n'était pas rare non plus de trouver des plaques de chlorure d'argent, et en janvier 1843 j'ai vu et recueilli à la *Observacion* de belles lames de cuivre natif engagé dans un hydrosilicate d'alumine. — M. Pernollet (p. 82) dit que le filon de San-Gabriel, de son deuxième groupe, peut donner une idée des décompositions qui se seraient opérées dans le filon principal. Peut-être, en effet, serait-il plus aisé dans l'avenir de comprendre les réactions qui ont eu lieu dans le filon de Jaroso.... Mais il ne faudra pas oublier que ce filon était, durant l'époque tertiaire supérieure méditerranéenne, probablement caché sous les eaux, ainsi que le prouvent quelques lambeaux modernes éparpillés dans la Sierra, et il faudra tenir compte par conséquent de l'influence de l'eau salée et de l'air sur des galènes antimoniales, sur des carbonates de fer, etc. — Je ne parlerai pas des filons insignifiants ou veines de la Sierra Alhamilla et d'autres lieux, tous gisant dans les schistes argilo-micacés ou argilo-talqueux. Leur peu de valeur les a déjà fait abandonner en partie. — J'ai été bien aise de voir M. Pernollet terminer la deuxième partie de son mémoire en approuvant quelques unes des méthodes employées en Sierra de Gador, car je craignais, en lisant la description pittoresque des mines du Puits et du Tornero (p. 88 et 89, 2^e partie), qu'il n'eût pas apprécié le cachet particulier du travail des Alpujarenos, travail qui leur permet d'exploiter avec bénéfice et de très minces capitaux des mines qui en France ne seraient pas abordables. Ailleurs, à Linares par exemple ou à Rio Tinto, M. Pernollet aurait pu voir de grandes exploitations minérales qui ne le cèdent en rien aux autres mines européennes, et alors il n'eût pas dit qu'une cabane de roseaux signalait au loin une mine espagnole. — Mais aussi les gîtes de Linares sont tout autres que ceux dont on vient de parler. Dans ces exploitations, comme dans presque toutes les autres, il eût vu que les ouvriers espagnols du midi de la Péninsule sont d'excellents et de hardis mineurs, et qu'on n'a pas besoin, comme il le dit (p. 97, 2^e partie), de s'assurer de leur fidélité, en ne les payant que tous les trois mois, et que s'ils ne sont pas coureurs, ce n'est pas non plus parce que la plupart auraient de bonnes raisons pour ne pas appeler l'attention sur eux (2^e partie). — En les étudiant avec

soin et en vivant avec eux , on est étonné que dans ces vastes solitudes , les vols et les crimes soient si peu nombreux. — Je ne parle pas de leur sobriété assez proverbiale , ce que les prix fixés par M. Pernollet , pour la nourriture de chacun d'eux , démontrent clairement. C'est donc à tort que cet ingénieur a critiqué (p. 105) le *bocadillo* et la *guitara*, expressions fort originales pour quiconque connaît bien le caractère à la fois satirique et spirituel des Andalous. — Les mines de cette partie du littoral de l'Espagne ont été exploitées dès la plus haute antiquité. Il est même probable que l'origine des travaux est antérieure à la domination romaine. — Ce qu'on lit dans le *Registro de minas de la Corona de Castilla* prouve évidemment que même celles de la Sierra de Gador ont eu , contrairement à l'opinion de M. Pernollet (p. 101), une assez grande importance. — On y a reconnu , outre des traces d'exploitation par le feu, deux ou trois pièces de monnaie et quelques restes de vases qu'on attribue aux Phéniciens. — Si l'on ne trouve pas , et si l'on n'a jamais trouvé dans cette localité des tas de scories un peu importants , il faut croire que les minerais étaient transportés soit à Urçi , soit aux environs de Mazarron et de Carthagène , dont les minerais étaient d'un traitement difficile pour l'époque. Aujourd'hui , malgré l'avancement de la science , tous ceux de Sierra Almagrera et beaucoup de ceux du district de Carthagène ne sont pas aisés à fondre sans une préparation mécanique bien entendue. J'ai vu , en 1842 et 1843 , d'excellents fondeurs allemands ne produire que des résultats très médiocres avec les beaux minerais qu'on extrayait alors du Jaroso. — Pour quiconque a vu les immenses tas de scories des environs du Rio Almanzora près le lieu dit *las Herrerias*, et surtout cette espèce de *formation escoriale* , si je puis m'exprimer ainsi , qui forme dans l'actualité l'une des plus grandes richesses des environs de Carthagène , il ne restera aucun doute sur le mouvement commercial métallurgique des anciennes villes de Urçi et de Carthago-Nova. Cette dernière était bien certainement l'*emporium* de l'art des mines espagnoles , et ses rivages représentaient pour l'empire ce que les Amériques ont été pour l'Europe dans les temps modernes. — J'attendrai le grand travail que se propose de publier don José Monasterio sur les formes des fourneaux anciens , pour y joindre des observations et des notes qui me sont personnelles et entretenir la Société sur l'art des mines à une époque excessivement reculée. Aujourd'hui je me contenterai de faire remarquer , avec don Amalio Maestre , combien il y a de probabilités pour que dans les temps anciens la plaine de Carthagène et celle du Rio

Almanzora aient été des centres d'une immense industrie métallurgique.—J'ai déjà parlé des tas de scories qui bordent cette rivière. Je dirai maintenant qu'il est fort remarquable de trouver dans les scories de Carthagène (1) et dans celles de Mar-menor de 18 à 20 p. 100 de plomb avec une quantité d'argent insignifiante, quand les minerais argentifères de ces localités ne donnent pas souvent produit brut une quantité aussi grande de plomb et fournissent plus d'argent. — Disons donc, à moins d'admettre que les anciens fondaient mieux que nous, qu'ils mélangeaient les galènes blendeuses du Cabezo de la Raja (p. 46), où toute la partie métallique a été enlevée (comme on le voit dans diverses mines romaines), les galènes que M. Pernollet signale (p. 44, 1^{re} partie de son Mémoire) à la teneur de 130 à 400 grammes d'argent pour 100 kilogrammes de plomb, et celles qu'il indique (p. 59) à la teneur de 120 à 200 grammes, qu'ils mélangeaient ces minéraux avec d'autres plus fusibles et de la nature de ceux de Gador, et leurs fourneaux prouvent qu'il ne pouvait en être autrement. — Ainsi se réaliseraient complètement les suppositions judicieuses de M. Pernollet, développées avec soin (p. 67 de la 2^e partie de son travail). — Quant aux travaux des mines de l'antiquité, M. Burat, qui en parle dans sa Géologie appliquée, et M. Pernollet qui revient sur ce sujet, n'en ont pas visité assez pour que leurs critiques sur les exploitations anciennes puissent servir de base. Les excavations que M. Burat a décrites sont celles du Campigliese Toscan, et vraiment je ne sais pas si un peuple qui n'avait que de grossiers instruments de travail pouvait mieux opérer. D'ailleurs les Romains étaient dans leur pays ou presque dans leur pays, et nous savons par les Commentaires de César et par les travaux de Pline, qu'ils étaient de mauvais mineurs en comparaison des Aquitains, des Gaulois et des Ibériens. — Aussi les anciennes mines du midi de la France (Cenomes, Hérault), col de Bernadell (Catalogne), etc.), où les médailles romaines sont assez abondantes, présentent-elles des méthodes meilleures et plus scientifiques. — En Asturie les mines antiques prouvent de grandes connaissances, et la galerie du Barranco del Frances, en Almagrera, ne prouve pas non plus une entente moins bien comprise de l'art des mines. Je parlerai plus tard et en détail, non seulement de tous ces travaux, mais encore

(1) Le lac salé, dit Mar-menor, a son fond composé, jusqu'à plus de 200 varas de ses rives, de scories pareilles à celles de Carthagène. — Depuis cet été (1846) on va à la pêche des scories pour les fondre ensuite sur terre ferme.

de ceux d'Estramadure et de la période arabe en Sierra Morena. — Dans la première partie de son Mémoire (p. 73), M. Pernollet critique les concessions des mines de 100 sur 200 varas obtenues pour un douro, en formant un puits en un endroit quelconque. Puis, à la page 139 de la 2^e partie, il dit que ces concessions demandées sont obtenues sans le moindre contrôle, et, p. 140, il rend coupable l'administration espagnole d'une dépense de 2,000,000 qu'il suppose faite inutilement. Il blâme, p. 141, le mode de recherches, et pourtant en Sierra Almagrera, comme ailleurs, il y a au fond des puits des galeries de recoupement provoquées par les ingénieurs espagnols ! Je répondrai à tout cela que les réflexions de M. Pernollet ne sont pas exactes ; s'il avait lu attentivement la loi organique des mines (4 juillet 1825), il aurait vu non seulement que l'administration espagnole ne provoque pas de folles dépenses, mais que dans l'instruction qui en est la suite, et les décrets royaux qui en dérivent, l'administration a combattu constamment les demandes illicites. — Confessons seulement une chose, c'est qu'après le phénomène du plateau de las Herrerías, où, *sous un terrain tertiaire supérieur horizontalement stratifié*, on découvrit des gîtes plombeux, les ingénieurs espagnols se sont vu quelquefois la main forcée ; et cet exemple n'est pas le seul où la science géologique ait fait défaut ! — A la page 133 de la 2^e partie de son Mémoire, M. Pernollet demande quelle a pu être l'origine de ces rectangles de 100 sur 200 varas. Je lui répondrai que cette idée première a été puisée en Allemagne, puis importée en Amérique, où, lors de la distribution de riches filons verticaux, on a fait les parts aussi petites que possible pour appeler dans le pays la plus grande masse possible d'exploitants européens. Aussi l'Amérique méridionale espagnole s'est-elle rapidement peuplée. — Croit-on que ce morcellement ait été nuisible aux Espagnols pour avoir été maintenu ? Qu'on réfléchisse au nombre de bras inoccupés lors de la cessation de la guerre civile et lors du licenciement de 1843 ; puis on se demandera ce qu'il fût advenu si, en 1841, 1842 et 1843, voire même une partie de 1844, plus de cinquante mille hommes vigoureux et remplis d'énergie n'eussent trouvé du pain dans les entrailles de la terre. — Partant du principe de M. Pernollet, on devrait abandonner toutes les mines d'Allemagne qui ne fournissent annuellement que des pertes au gouvernement. Heureusement il n'en est pas ainsi. D'ailleurs ces rectangles de 100 sur 200 se sont singulièrement modifiés en grandeur, toutes les fois que cela a été nécessaire ; et quoique M. Pernollet dise (p. 137, 2^e Mémoire) en parlant de l'inscription du phare de Malaga, qu'elle

ne serait pas en bon castillan si elle n'était emphatique, croyez bien, messieurs, que le législateur espagnol sait mettre souvent à profit cette même richesse d'une des belles langues de l'Europe dans un intérêt d'utilité publique ou d'encouragement national. — Voyez ce qu'a produit à l'exportation la Sierra de Gador sous l'empire de pareilles lois depuis 1796 jusqu'à la fin de 1844 ; 13,561,139 quintaux de plomb, et 365,817 quintaux d'alquifoux, représentant une valeur de 824,913,364 réaux, soit en nombres ronds 200,000,000 de francs. — C'est encore sous l'empire de ces lois que l'inspection de Lorca constate depuis 1842 jusqu'à présent une production moyenne annuelle de plus 123,308 marcs d'argent et de 40,561 quintaux de plomb.

Je m'arrête, parce que ceci sort déjà du sujet qui nous occupe, et pourtant, s'il en était besoin, je mettrais sous les yeux de la Société les Mémoires de MM. Ezquerria, Pellico et Maestre, ou même les bulletins officiels qui prouveraient que loin d'exagérer les résultats, je les ai plutôt amoindris.

M. Rozet fait observer que des scories de hauts fourneaux, d'âge très ancien, antérieurs du moins aux souvenirs historiques, n'existent pas seulement en Espagne, mais qu'on remarque en plusieurs points de la France, et en particulier dans le département de la Dordogne, aux environs de Piégu, près Nontron, de grandes accumulations de laitiers, de scories, affectant même quelquefois une véritable forme de couches.

M. d'Omalius d'Halloy lit la note suivante :

Réflexions en faveur de l'hypothèse de la chaleur centrale du globe terrestre, par M. J. J. d'Omalius d'Halloy.

Quoique je pense, ainsi que j'ai déjà en l'occasion de le faire connaître plusieurs fois, que les hypothèses sont à la géologie ce que les romans sont à la littérature, je demande à la Société la permission de l'entretenir quelques instants d'une question de cette nature.

Depuis longtemps il ne paraît plus de nouvelles hypothèses géologiques, car nos devanciers en ont tant fait que l'on ne peut plus rien imaginer de nouveau; mais la science, c'est-à-dire les observations, faisant tous les jours des progrès, les considérations sur lesquelles les auteurs appuient leurs idées ne se trouvent bientôt plus en rapport avec les faits connus, et ces idées tombent dans

l'oubli, pour reparaitre plus tard d'une manière plus en rapport avec l'état des observations et avec le goût du moment; car on ne peut disconvenir que la mode n'exerce son empire sur les sciences comme sur bien d'autres choses.

Nous ne sommes pas encore loin d'une époque où les hypothèses basées sur la chaleur centrale du globe terrestre jouissaient d'une faveur presque exclusive; mais aujourd'hui on remarque une certaine tendance vers celles qui s'appuient sur le changement de l'axe terrestre, ou vers l'école qui dit ne faire usage que des *causes actuelles*. Je pense, en conséquence, qu'il n'est pas hors de propos de rappeler quelques considérations en faveur d'une manière de voir qui me semble préférable aux autres.

Je ne m'occuperai pas ici de la doctrine du changement d'axe, parce que ses partisans, ayant la bonne foi de convenir qu'ils ne se fondent que sur une hypothèse, laissent en quelque manière à chacun son jugement libre, et parce que, en parlant de la chaleur centrale, je ferai suffisamment connaître que cette hypothèse me paraît la plus simple; mais je crois devoir faire un nouvel acte d'opposition contre l'espèce de tyrannie que le nom d'*école des causes actuelles* exerce sur l'esprit des personnes qui n'ont pas étudié ces matières à fond.

En effet, une doctrine qui expliquerait toute l'histoire de notre globe par l'action des phénomènes qui se passent actuellement doit mériter la préférence sur celles qui recourent à des hypothèses qui font intervenir des phénomènes plus énergiques. Personne ne peut élever de doutes à ce sujet, de sorte que la question est de savoir si la doctrine dite des *causes actuelles* ne forme point d'hypothèses, et si elle explique tous les faits constatés par l'observation. Je demanderai, en conséquence, si ce n'est point faire des hypothèses que de dire qu'il se forme, sous les eaux limpides de nos mers actuelles, des dépôts aussi puissants que ceux que nous présente la série des anciens terrains neptuniens; que les corps organisés qui sont enveloppés dans ces dépôts s'y transforment en fossiles semblables à ceux que nous trouvons dans les terrains anciens; que l'action érosive des mers sur les côtes s'exerce depuis des milliers de siècles, et a transformé d'immenses continents en vastes mers; que la chaleur que l'on observe en s'enfonçant dans l'écorce du globe, ainsi que les phénomènes des volcans et des tremblements de terre, sont dus à des actions chimiques qui se passent dans l'intérieur de cette écorce?

Je demanderai, en second lieu, si c'est, par exemple, une explication satisfaisante que celle qui admet que des soulèvements et

des affaissements lents, à peu près insensibles, comme ceux que l'on observe en Scandinavie, peuvent produire les plissements et les déchirements de couches que l'on remarque dans nos montagnes. Je dirai de plus que des hypothèses et des explications qui ne remontent qu'à un ordre de chose semblable à celui qui règne actuellement ne satisfont pas notre esprit, qui désire toujours remonter aussi loin que possible. Je sais qu'il est un terme où l'investigation du naturaliste doit s'arrêter, et ce terme, c'est celui où cessent les inductions tirées de l'observation. Mais est-ce remonter à ce terme que de dire que la terre a toujours été comme elle est? Je le crois d'autant moins, que je pense que si la terre avait toujours été comme elle est, elle ne serait pas comme elle est, c'est-à-dire que si certaines forces qui agissent sur elle n'avaient pas été dans le cas d'agir avec plus d'énergie, plusieurs circonstances que présente la terre n'auraient pu se produire.

Les astronomes peuvent s'être trompés lorsqu'ils ont supposé que la terre avait été à l'état gazeux, comme les nébuleuses et certains autres astres qui se meuvent dans l'espace; mais ils ne sont certainement pas sortis de l'induction permise au naturaliste. Il en est de même des géologues, lorsqu'ils ont dit que cette masse gazeuse s'était en partie transformée en une masse liquide qui tend à son tour à devenir solide. De semblables hypothèses n'ont rien de contraire à ce que nous connaissons des lois de la nature; mais la question, pour nous, est de savoir si, en partant de cette hypothèse, nous expliquons mieux l'état actuel de notre globe qu'en supposant qu'il a toujours été à peu près tel qu'il est?

On sait que quand les gaz passent à l'état liquide, il se produit une chaleur considérable, de sorte que dès que l'on admet que la terre a été à l'état gazeux, quelque froide qu'ait pu être alors sa température, on répond à l'objection principale dirigée contre l'hypothèse de la chaleur centrale, c'est-à-dire à la question: D'où vient cette chaleur? D'un autre côté, on sait que quand un corps liquide passe à l'état solide, il se produit des phénomènes plus énergiques que quand ce corps demeure dans le même état. Il est inutile que je répète ici comment l'application de ce principe explique d'une manière satisfaisante tous les faits que nous présente l'étude du globe, ces choses se trouvant dans tous les ouvrages élémentaires qui admettent la chaleur centrale. Tout ce que je tenais à faire voir, c'est que cette école peut aussi bien se dire fondée sur les lois de la nature actuelle que celle qui s'intitule des *causes actuelles*.

J'ajouterai cependant une comparaison qui est dans la manière

d'argumenter de cette dernière école. Supposons que, dans un pays où l'art de fondre le bronze était inconnu, il soit venu s'établir des fondeurs qui, travaillant mystérieusement dans un lieu éloigné d'autres habitations, auraient été victimes d'une de ces explosions qui arrivent quelquefois quand on coule de grandes pièces. Lorsque les habitants du pays auront découvert le théâtre du désastre, il se sera établi entre eux une discussion sur les causes de celui-ci. Les uns auront jugé, d'après le bouleversement de l'usine et d'après l'état des cadavres, que les fondeurs avaient été tués par une explosion, tandis que les autres auront dit qu'il était bien plus naturel d'admettre que les fondeurs avaient été asphyxiés ou empoisonnés par des miasmes délétères, plutôt que de recourir à une cause inconnue dont on n'avait aucun exemple dans les ateliers des maréchaux, des chaudronniers et des autres personnes qui travaillent les métaux dans le pays. Or, cette discussion aurait tout à fait représenté celle qui a lieu maintenant entre les partisans de la chaleur centrale et les géologues qui disent n'invoquer que les *causes actuelles*.

Comme j'ai cité tout à l'heure l'hypothèse de la submersion de vastes continents, je me permettrai encore de dire quelques mots à ce sujet, non pas que je veuille contester la possibilité de semblables phénomènes, qui d'ailleurs s'associent aussi bien avec le système que je soutiens qu'avec celui que je combats. Mais il me semble qu'il n'est pas hors de propos de faire voir que cette hypothèse n'est pas aussi évidente que plusieurs géologues le pensent. En effet, si nous examinons le sol de nos continents, nous remarquerons que des parties plus ou moins considérables ne sont pas recouvertes par des dépôts marins postérieurs à la période primaire, et que, dans les portions où il existe des dépôts marins secondaires ou tertiaires, ils sont souvent remplis de débris de corps organisés qui semblent avoir vécu sur la place même où ils se trouvent. Or, comme il paraît que les êtres organisés ne peuvent pas vivre à de très grandes profondeurs, et qu'il est probable qu'une partie au moins des sols qui ne présentent pas de couvertures marines secondaires ou tertiaires étaient déjà émergés lors de la formation de ces dépôts, on est porté à en conclure que ces terres avaient, dès les temps les plus anciens, des altitudes qui les plaçaient les unes au-dessus, les autres peu au-dessous du niveau de la mer. D'un autre côté, si nous examinons les parties de la surface terrestre occupée par de vastes mers, nous y voyons des profondeurs excessives et rien qui annonce les restes d'anciens continents. On a cru, à la vérité, trouver ce dernier caractère dans

les îles de la Polynésie ; mais la nature presque exclusivement volcanique et madréporique de ces îles , ainsi que les grandes profondeurs de la mer dans leur voisinage, ne semblent pas très favorables à cette manière de voir. Au surplus, en élevant des doutes sur le déplacement des continents, je suis loin de contester que des successions de soulèvements et d'affaissements aient produit dans les parties de la surface terrestre où se trouvent nos continents et nos grands archipels des successions d'émersions et de submersions qui aient fortement modifié les formes des terres émergées. Tout ce que je veux dire , c'est que je suis porté à croire que les portions du globe où se trouvent nos terres actuelles ont été, dès les temps les plus reculés , celles dont l'altitude a été la plus considérable, et que la succession des phénomènes géologiques a eu pour résultat général de tendre à augmenter, dans ces mêmes portions de la surface du globe, l'étendue des terres émergées. Il est à remarquer que cette manière de voir se trouve tout à fait en rapport avec la belle découverte de M. Élie de Beaumont, que les montagnes les plus élevées sont les plus récentes ; car on sait que, à l'époque où il y avait moins d'inégalités à la surface du globe, c'est-à-dire quand les masses qui s'élevaient au-dessus du niveau de la mer contenaient une moins grande quantité de matières solides, la surface couverte par les eaux devait être beaucoup plus étendue qu'à présent, ce qui nous explique pourquoi les débris d'animaux terrestres et d'eau douce sont si rares dans les terrains primaires. Cette manière de voir est également en rapport avec l'opinion qui attribue l'origine de nos terres élevées au jeu des parties disloquées de l'écorce qui recouvre le noyau liquide du globe ; car on conçoit que les parties qui auront été les plus disloquées et les plus soulevées dans les premiers temps auront continué à être celles qui offrent le moins de résistance à l'action des phénomènes qui tendent à dégager vers la surface certaines parties du fluide intérieur.

M. Delanoue met sous les yeux de la Société un petit flacon de protoxychlorure d'antimoine , qui a pris spontanément la forme oolitique dans un coin de son laboratoire, où il l'avait oublié. Il se trouvait , ainsi que beaucoup d'autres précipités de diverse nature, immergé dans l'eau de lavage et soumis aux légères oscillations produites par le roulement des voitures ; il est le seul qui ait pris la texture grenue.

Séance du 15 mars 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite de la présentation faite dans la dernière séance, le Président proclame membre de la Société :

M. DELAHAYE, pharmacien, à Paris, rue de Lancry, 35, présenté par MM. Thirria et Sauvage.

Le Président annonce ensuite trois présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le Ministre de la justice, *Journal des Savants*; février 1847.

De la part de M. A. Daubrée, 1^o *Recherches sur la formation journalière du minerai de fer des marais et des lacs* (extr. des *Ann. des mines*, 4^e série, t. X, 1846); in-8^o, 34 p. Paris, 1846.

2^o *Mémoire sur la distribution de l'or dans la plaine du Rhin et sur l'extraction de ce métal* (extr. des *mêmes annales*, 4^e série, t. X, 1846); in-8^o, 36 p., 1 pl. Paris, 1846.

De la part de M. J. Durocher, *Études sur la limite des neiges perpétuelles* (extr. des *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. XIX); in-8^o, 47 p., 1 pl. Paris, 1847.

De la part de M. le baron d'Hombres Firmas, *Rapport fait à l'Académie royale du Gard sur le Congrès scientifique de Gènes*; in-8^o, 24 p. Alais, 1846.

De la part de M. Hardouin Michelin, *Divers projets de lois et rapports (Chambres des pairs et des députés) relatifs à des collections d'objets d'histoire naturelle*, etc.....

De la part de M. Ach. de Zigno, *Nota*, etc. (Note sur la séparation des fossiles du biancone et du calcaire ammonitique des Alpes vénitiennes); in-8^o, 15 p. Venise, 1847.

De la part de M. W. C. Redfield, *On three several hurricanes*, etc. (Sur trois ouragans de l'Atlantique et sur leurs

relations avec les vents frais de Mexico et de l'Amérique centrale, et quelques notices sur d'autres tempêtes); in-8°, 118 p., 11 pl. New-Haven, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, nos 9—10.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. VII, n° 37, janvier 1847.

L'Institut; 1847, nos 687—688.

Bulletin de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy; t. IV, 4^e livraison, 1846.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse; n° 96.

The Athenæum; 1847, nos 1010—1011.

The Mining journal; 1847, nos 602—603.

Boston journal of natural history; vol. V, n° 11, 1845.

A l'occasion du procès-verbal, M. Delbos exprime ses regrets de n'avoir pu prendre part aux discussions de la séance précédente. Dans le bassin de l'Adour, dit-il, les terrains nummulitiques s'offrent avec des caractères peut-être mieux tranchés que dans le reste du midi de la France; ils y présentent trois étages bien distincts, qui ne sont pas seulement des subdivisions locales, mais qui paraissent, au contraire, se retrouver dans les Corbières, aux environs de Nice, en Crimée, etc. Ces terrains reposent sur une craie à *Ananchytes ovata*, *Inoceramus Lamarckii*, etc., qu'il croit du même âge que la craie blanche du bassin de Paris. Des dolomies rougeâtres séparent les deux terrains et forment peut-être l'assise inférieure des terrains nummulitiques.

Quant au véritable calcaire grossier, il ne croit pas à son existence dans les Landes et aux environs de Dax. On n'y trouve que le calcaire à Astéries, c'est-à-dire cette formation marine puissante qui recouvre les mollasses et une partie des calcaires d'eau douce du département de la Gironde. Les mollasses reposent elles-mêmes sur le vrai calcaire grossier de Blaye et de Pauillac (calcaire à Orbitolites). On voit donc, d'après cela, que le calcaire à Astéries se trouve aussi nettement séparé du calcaire grossier par les caractères géologiques que par l'ensemble des fossiles.

Il croit que les faluns bleus de Dax correspondent exactement au calcaire à Astéries de la Gironde. Les faluns jaunes représentent, au contraire, les faluns des environs de Bordeaux, et offrent, comme ces derniers, plusieurs subdivisions, comme il se propose de le faire voir dans une notice qu'il prépare en ce moment.

M. Boubée répond que cela n'infirme pas l'opinion de ceux qui disent que les terrains à Nummulites font partie de la craie.

MM. Delbos et Michelin sont d'avis que la forme de ces fossiles doit les faire rapprocher des terrains tertiaires. M. Delbos ajoute que les terrains nummulitiques se présentent, dans le bassin de l'Adour, avec des caractères entièrement indépendants de la craie, et paraissent, au contraire, se rattacher intimement aux terrains tertiaires.

M. Boubée fait observer que les Nummulites s'étendent jusqu'au terrain néocomien.

M. Michelin fait observer de nouveau que les Nummulites du terrain supérieur à la craie sont accompagnées de fossiles tous tertiaires.

M. Deshayes oppose à M. Boubée le Mémoire de M. Leymerie.

M. Delbos croit, d'après le Mémoire de M. Leymerie, que dans les Corbières les étages inférieurs des terrains nummulitiques ne se trouvent qu'à l'état rudimentaire. L'étage supérieur s'y trouve seul bien développé. Les formations inférieures renferment moins de fossiles analogues à ceux du bassin de Paris, mais on n'y trouve cependant aucune espèce crétacée, si ce n'est l'*Ostrea lateralis* et l'*O. vesicularis*; encore cette dernière est-elle très douteuse.

M. Dufrénoy dit que tout le monde est d'accord pour placer le terrain à Nummulites dans une position déterminée, savoir à la séparation de la craie blanche et du calcaire grossier; que tout le monde sait aussi qu'il y existe des fossiles tertiaires et des fossiles crétacés; la seule question qui reste est donc de savoir à laquelle de ces deux grandes formations il faut associer le calcaire à Nummulites; les uns, dont il partage les opinions, le rangent dans les formations crétacées, par suite de l'étude de la stratification, tandis que les autres, faisant plus d'attention

aux fossiles tertiaires, l'associent à ces formations modernes.

M. Constant Prévost demande à M. Delbos quelle est la position précise qu'il assigne aux bancs à Nummulites du port de Biarritz, et à quel point, suivant lui, serait placée la limite entre les terrains tertiaires et ceux de craie sur la falaise qui s'étend de ce même port de Biarritz à Bidart; il est évident que les lits nombreux inclinés et disloqués que l'on poursuit, de cette dernière localité jusqu'à l'embouchure de la Bidassoa, appartiennent au système crétacé, et M. Constant Prévost avoue qu'il lui a été impossible de bien saisir la ligne de séparation; il signale à M. Delbos un rocher de calcaire saccharin très volumineux, placé en mer en avant de la falaise, à peu de distance de Bidart, et nommé la *Roche qui boit*; ce calcaire contient une très grande quantité de Nummulites, peut-être d'espèces différentes de celles des rochers de Biarritz; mais le rocher lui paraît faire incontestablement partie du terrain de craie. La roche, par son aspect, ses caractères minéralogiques, lui a rappelé, jusqu'à un certain point, les bancs évidemment crétacés du cap Passaro, du mont de Sciacca en Sicile, dans lesquels il a trouvé des Nummulites avec des Hippurites, bancs qui se voient partout concordants avec le terrain crétacé, disloqués comme lui, et recouverts comme lui souvent en superposition contrastante par le terrain tertiaire; il rappelle à ce sujet la note qu'il a insérée dans le *Bulletin de la Société géologique*, 2^e série, t. II, p. 27, pl. I.

M. Constant Prévost voit avec plaisir que les nouvelles observations viennent chaque jour indiquer un passage entre les périodes secondaires et tertiaires, et contribuer à appuyer cette doctrine, que l'histoire des phénomènes géologiques ou au moins de ceux qui ont concouru à la formation du sol pourra être suivie sans interruption en partant de l'étude des causes actuellement en action jusqu'aux époques les plus reculées.

Il pense que, comme l'a très bien dit M. Dufrénoy, la discussion se réduira bientôt à la difficulté d'appliquer les mots secondaires et tertiaires à tels ou tels terrains, et qu'un jour on sera aussi embarrassé pour caractériser nettement ces deux groupes de matériaux du sol, qu'on l'est déjà pour séparer les terrains secondaires des terrains primaires.

Ces divisions chronologiques des parties du sol sont des points pris par les géologues dans une série continue de produits, comme ceux que les historiens prennent pour diviser l'histoire des hommes; mais, de même que certains faits et certains événements peuvent, dans l'histoire d'un peuple ou d'une contrée, telle que l'Europe, par exemple, servir à séparer l'antiquité, le moyen âge et les temps modernes, sans que les mêmes coupes naturelles puissent s'adapter à l'histoire de l'Asie ou de l'Amérique, de même les divisions créées par les géologues européens ne pourraient sans doute s'appliquer à toute la surface de la terre que par des interprétations dangereuses pour les intérêts de la vérité.

M. Delbos répond à M. Constant Prévost que la *Roche qui boit* lui paraît appartenir encore à l'étage supérieur des terrains nummulitiques. Au-delà de cette roche, c'est-à-dire après avoir passé le rocher du Goulet, on trouve des calcaires sableux qui se rapportent à l'étage inférieur. Plus loin encore, les couches sont fortement disloquées par une éruption ophiitique, et une partie des roches situées au-delà du rocher du Goulet se rapporte peut-être aux dolomies des environs de Dax. En tout cas, les assises qui forment la falaise entre ce centre de dislocation et Bidart se rapportent bien évidemment à la craie. Le contact des deux terrains doit donc se faire précisément au point où les couches sont le plus tourmentées.

M. Boubée cite Oleron, où l'on observe un mélange semblable.

M. Delbos répond à M. Boubée qu'il ne connaît pas une seule Nummulite dans toute la craie authentique du midi de la France. Un fossile commun à Royan, qu'on avait rapporté à la *Nummulites scabra* Lk., vient d'être reconnu pour n'être autre chose qu'un *Orbitolite*. Les Nummulites, au contraire, se trouvent jusque dans le calcaire à Astéries.

M. Michelin dit qu'on n'a jamais apporté des Nummulites avec des Hippurites, mais qu'il y a des bancs d'Orbitolites au milieu des terrains crayeux, et que ces fossiles ont été pris pour des Nummulites.

M. Paillette dit qu'il a rapporté de Sicile des Nummulites

qui ont été vérifiées par les paléontologistes, et qui venaient d'un rocher contenant des Hippurites.

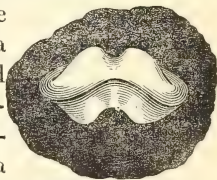
M. Dufrénoy croit qu'on ne peut nier qu'il y ait des Hippurites et des Nummulites mêlées. Il faudrait établir une réunion de la Société dans les Corbières pour décider la question.

M. Boubée demande que l'on continue la discussion jusqu'à ce qu'il en résulte une solution qui puisse être considérée comme l'opinion de la majorité dans la Société géologique.

Il n'est pas donné suite à sa proposition.

A propos de la correspondance, M. Élie de Beaumont lit les lignes suivantes de M. de Buch :

« J'ai retiré tant de profit des excellentes observations et » descriptions consignées dans les *Mémoires de la Société géologique de France*, que j'en ai l'âme toute remplie de reconnaissance. » Je désirerais donc ardemment voir mon nom inscrit sur la liste » des membres d'une Société à laquelle on est redevable de si » beaux travaux... Les planches qui accompagnent le Mémoire » de MM. d'Archiac et de Verneuil sur les Térébratules des As- » turies, dans le *Bulletin* de 1845, sont admirables, et elles n'aug- » mentent pas peu l'étonnement dans lequel doit jeter la connais- » sance de toute une section de Térébratules jusqu'ici inconnues. » Vous savez que le sinus dorsal, normal pour toutes les Térébra- » tules, correspond à un bourrelet de la valve ventrale. Dans la » section des enroulées (*cinctæ*) le sinus dorsal correspond à un » sinus ventral, mais si exactement que les arêtes sur le bord du » sinus sont placées sur les valves comme une espèce d'anneau qui » les entoure. Dans la section des Asturies, la valve ventrale est aussi » enfoncée que la valve dorsale ; mais ces deux sinus ne se correspon- » dent pas, ce qui fait que la valve dorsale s'élève » toujours vers la valve ventrale comme dans la » figure ci-jointe. MM. d'Archiac et de Verneuil » observent très bien que cette section remar- » quable commence avec la *Terebratula concen- » trica*, et nomment, par conséquent, toute la » section : *Section des concentriques* ; mais il n'y a rien de concen- » trique dans les formes les plus remarquables : il serait donc à dé- » sirer qu'ils eussent choisi un nom plus distinctif... Nous sommes » enfoncés ici, presque étouffés dans les *Trilobites*. La Bohême en » fournit une quantité étonnante, et plusieurs naturalistes les re- » cherchent avec un soin admirable. En premier lieu, M. Joachim



» Barrande... Nous l'avons vu ici, et peut-être le verrai-je dans
 » peu à Prague, qui, grâce aux chemins de fer, est à nos portes.
 » J'ai reçu de lui ses noms pour les Térébratules nouvelles de la
 » Bohême et je m'en servirai.

» ... Il fut un temps où vous aviez fait espérer une monogra-
 » phie de la formation nummulitique ; vous avez été le premier à
 » la séparer des formations crayeuse et tertiaire... Si je considère
 » que cette formation commence vers l'Atlantique et suit sans in-
 » terruption le pied des montagnes qui bordent la Méditerranée,
 » par l'Italie, par la Grèce, par toute la Natolie, où elle a été
 » poursuivie par MM. Hamilton, Edward Forbes et par les offi-
 » ciers prussiens qui ont accompagné l'armée turque lors de la
 » bataille contre Ibrahim ; si je vois que cette formation traverse
 » l'Euphrate et le Tigre, qu'elle suit la chaîne des montagnes de
 » Zagros (Susa est bâtie sur des nummulites), qu'elle entre dans
 » le Mekran, le long du golfe Persique, qu'elle remonte les bords
 » de l'Indus et enfin se termine tout à coup à la jonction de la
 » rivière de Cabul et de l'Indus ; si je vois que cette formation
 » s'étend sur un si grand espace du globe, je dois lui supposer une
 » très grande importance et j'aimerais bien à la voir décidément
 » séparée de la formation tertiaire. Mais ceci s'éclaircirait dans les
 » Abruzzes, en comparant ce qu'on y remarque avec les phéno-
 » mènes des Alpes. M. Escher de la Linth assure très positive-
 » ment que dans le Vorarlberg, au saütis du pays d'Appenzell,
 » sur le lac de Wallenstadt, la formation nummulitique, sans
 » aucun caractère crayeux, est toujours recouverte par une masse
 » énorme de macigno. M. Gras nous apprend la même chose
 » pour les nummulites dans les Hautes-Alpes, à l'E. de Gap ;
 » M. Pareto ne met aucun doute que les nummulites de Nice, du
 » col de Tende, de Menthon, ne s'enfoncent sous le macigno ;
 » c'est encore une suite des observations de MM. Villa dans la
 » Brianza. »

M. Damour fait la communication suivante sur les *Geysers de l'Islande*.

Analyses de quelques eaux thermales silicifères de l'Islande,
 par M. A. Damour.

Ces eaux recueillies, dans le courant de l'été de 1846, par M. Descloizeaux, chargé d'une mission scientifique en Islande, ont été rapportées dans des bouteilles de verre, fermées avec des bouchons garnis de caoutchouc et soigneusement cachetées. Au

sortir des bouteilles, l'eau était d'une limpidité parfaite, elle exhalait une légère odeur d'hydrogène sulfuré.

A l'aide des réactifs on reconnaît qu'elles renferment les principes suivants : soufre, chlore, acide sulfurique, acide carbonique, silice, soude, potasse, quelques traces de chaux et de magnésie.

N'ayant à ma disposition qu'une petite quantité de ces différentes eaux, je n'ai pu toujours doser la totalité des principes qu'elles retiennent en dissolution ; je me suis attaché principalement à doser, pour chacune d'elles, les proportions de la silice et des alcalis. A cet effet, un volume d'eau déterminé étant rendu acide par quelques gouttes d'acide sulfurique, a été évaporé à siccité, dans une capsule de platine, à la température de 60 degrés centigrades. Les chlorures, les sulfures et les carbonates ont été ainsi décomposés et les bases converties en sulfates. Le résidu de cette évaporation a été traité par l'eau chaude et lavé par décantation. Le dépôt insoluble a été recueilli sur un filtre : il était formé de silice pure. La liqueur, séparée de la silice, a été évaporée à siccité, et le résidu sec chauffé au rouge dans un creuset de platine. Ce résidu, consistant en sulfate de soude, de potasse et de magnésie, a été pesé exactement et redissous dans l'eau. La liqueur a été traitée par l'acétate de baryte, suivant la méthode dont on se sert généralement pour transformer les sulfates en carbonates. On a dosé la potasse au moyen du chlorure platinique, et la magnésie au moyen du phosphate de soude et d'ammoniaque. Le poids de la potasse et de la magnésie, ramené par le calcul à l'état de sulfates, a été retranché du poids des sulfates réunis : l'on a obtenu ainsi, par différence, le poids du sulfate de soude qui a permis d'évaluer la quantité de la soude.

Le chlore a été dosé à l'état de chlorure argentique, sur une quantité d'eau à part.

L'acide sulfurique a été dosé, également à part, au moyen de l'acétate de baryte.

Le soufre avait été déterminé, à la source même, par M. Descloiseaux, à l'aide du sulfhydromètre.

L'acide carbonique a été déterminé dans le laboratoire de M. Millon, à l'aide d'un appareil analogue à ceux dont on se sert pour l'analyse des matières organiques.

Voici le résultat de ces diverses analyses :

Eau du grand Geyser.

Un litre d'eau contient :

Soufre.	0,0036	—	c. m. c.	2,448	hydr. sulf. par litre.
Chlore.	0,4439				
Acide carbonique.	0,4520				
Acide sulfurique.	0,0897				
Silice.	0,5190	—	Oxygène.	0,2696	Rapports. — 3
Soude.	0,3427	—	0,0876		
Potasse.	0,0097	—	0,0016	0,0892	— 4
Magnésie.	0,0031				
	1,2637				

Si, faisant abstraction de l'acide sulfurique, du chlore, de l'acide carbonique, on compare l'oxygène de la soude et de la potasse à l'oxygène de la silice, on observe le rapport fort simple 1 : 3.

Maintenant si l'on répartit entre le chlore et l'acide sulfurique les quantités d'alcalis suffisantes pour former des sels neutres, il reste dans cette eau une proportion de soude et de silice dont les quantités d'oxygène présentent le rapport 1 : 9.

Chlorure sodique.	0,2638				
Sulfate magnésique.	0,0091				
Sulfate potassique.	0,0180				
Sulfate sodique.	0,4343				
Acide carbonique.	0,4520		Oxygène.		Rapports
Silice.	0,5190	—	0,2696	—	9
Soude (1).	0,1227	—	0,0314	—	1

Les autres sources m'ont également présenté entre la silice et les alcalis qu'elles renferment, des rapports analogues.

(1) La soude, ici, n'est pas à l'état caustique, mais unie à l'acide carbonique. Or, c'est un fait connu depuis longtemps, et M. Berzélius le signale dans son *Traité de chimie*, savoir, que la silice se dissout à chaud dans les solutions aqueuses de carbonate de soude et de potasse, sans que l'acide carbonique uni à ces bases en soit éliminé.

Eau de la source dite la Badstofa.

Soufre.	0,0064				
Chlore.	0,4554				
Acide carbonique.	non déterminé				
Acide sulfurique.	0,0397		Oxygène.	Rapports.	
Silice.	0,2630	—	—	0,4366	— 2
Chaux.	0,0466				
Soude.	0,2529	—	0,0647	} 0,0668	— 4
Potasse.	0,0424	—	0,0024		
Magnésie.	traces				

Si l'on sature le chlore, l'acide sulfurique avec une suffisante quantité d'alcali pour former des sels neutres, on trouve :

Chlorure sodique.	0,2873				
Sulfate de chaux.	0,0400				
Sulfate de potasse.	0,0229				
Sulfate de soude.	0,0103		Oxygène.	Rapports.	
Silice.	0,2630	—	0,4366	—	8
Soude.	0,0744	—	0,0482	—	4
Acide carbonique.	non déterm.				

Source sud du Hvergardin.

Soufre.	0,0094				
Chlore.	0,4732				
Acide carbonique.	non déterm.				
Acide sulfurique.	non déterm.		Oxygène.	Rapports.	
Silice.	0,3105	—	0,4643	—	2
Soude.	0,3488	—	0,0815	—	4
Magnésie.	traces				

Source du Store-Hver.

Soufre.	0,0030			Oxygène.	Rapports.
Silice.	0,3460	—	—	0,4644	— 2
Soude.	0,3072	—	0,0785	} 0,0848	— 4
Potasse.	0,0450	—	0,8025		

Source de Laugarnes.

Un litre d'eau contient :

Soufre.	0,0049			
Acide carbonique. .	non déterm.			
Chlore.	0,0296			
Acide sulfurique. .	0,0424			
Silice.	0,4350	—	Oxygène. 0,0704	Rapports. 3
Soude.	0,0942	—	0,0244	— 4
Potasse et magnésie.	traces			

Ces résultats peuvent être présentés ainsi :

Chlorure sodique. .	0,0547			
Sulfate sodique. .	0,0224			
Silice.	0,4350	—	Oxygène. 0,0704	Rapports. 5 à 6
Soude.	0,0508	—	0,0430	— 4

Rapports entre les quantités d'oxygène de la silice et des alcalis (1).

Abstraction faite des acides contenus dans l'eau.				Dédaction faite des sulfates et des chlorures.			
oxygène.				oxygène.			
Geyser. . . .	{ Silice. . 5190	— —	0,2696 — 3	— { Silice. . 5190	— 0,2696	— 9	
	{ Soude. . 5427	— 0,0876	0,0892 — 1		{ Soude. 1227	— 0,0314	— 4
	{ Potasse. 0097	— 0,0016					
Badstofa . . .	{ Silice. . 2650	— —	0,1566 — 2	— { Silice. . 2650	— 0,1566	— 8	
	{ Soude. . 2529	— 0,0647	0,0668 — 1		{ Soude. 0711	— 0,0182	— 1
	{ Potasse. 0124	— 0,0021					
Hvergardin. .	{ Silice. . 5105	— —	0,1615 — 2	—			
	{ Soude. . 5188	— —	0,0815 — 1				
Stor-Hver. . .	{ Silice. . 5160	— —	0,1641 — 2	—			
	{ Soude. . 5072	— 0,0785	0,0810 — 1				
	{ Potasse. 0150	— 0,0025					
Laugarnes. .	{ Silice. . 4350	— —	0,0704 — 3	— { Silice. . 4350	— 0704	— 5 à 6	
	{ Soude. . 0942	— —	0,0244 — 1		{ Soude. 0508	— 0150	— 4

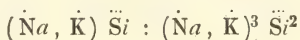
Sur ces différentes eaux, on voit qu'abstraction faite du chlore et de l'acide sulfurique, les rapports 1 : 3, 1 : 2, entre les alcalis et la silice, se représentent assez exactement, bien que la proportion de ces matières varie pour chaque source.

Après la saturation des acides, on observe, sur les deux premières sources, entre la silice et les alcalis restants, les rapports 1 : 8 ou 1 : 9. Il semble que le moment où ce rapport commence

(1) Ces eaux avaient aussi été analysées (les deux premières) par le Dr Black, professeur de médecine et de chimie à Edimbourg; les analyses de ce savant sont publiées dans les *Annales de chimie* de janvier à mai 1793.

à s'établir soit le point de départ de la formation du dépôt siliceux. La source de Laugarnes nous offre à ce sujet un moyen de contrôle assez remarquable. Cette eau ne dépose pas d'incrustations siliceuses; M. Descloizeaux croyait que je n'y trouverais pas de silice. Or, il en est arrivé tout autrement; elle en contient, il est vrai, moins que les autres sources, mais le rapport entre la silice et les alcalis est précisément celui qu'on observe dans l'eau du Geyser, 1 : 3. Le dosage du chlore et de l'acide sulfurique semble ici nous donner la raison de l'absence du dépôt silicieux. Il nous montre, en effet, que la proportion de ces acides étant relativement plus faible dans cette eau que dans les précédentes, une plus grande quantité d'alcalis doit rester libre. Après la saturation faite, la soude et la silice que nous supposons combinées dans la dissolution aqueuse, présentent le rapport 1 : 5, ou peut-être 1 : 6, au lieu de 1 : 9. Pour déterminer la formation du dépôt silicieux il faudrait donc introduire dans cette source une quantité de chlore ou d'acide sulfurique suffisante pour rétablir entre la silice et la soude restées libres le rapport 1 : 8 ou 1 : 9.

La silice contenue dans ces différentes eaux de sources de l'Islande, me paraît avoir primitivement été dissoute à l'état de silicate alcalin :



Ces deux silicates que j'ai reproduits artificiellement, sont, en effet, très solubles dans l'eau (1). Plus tard, les vapeurs sulfureuses, chlorhydriques, etc., arrivant dans ces eaux par les conduits souterrains et saturant la dissolution siliceuse alcaline, ont notablement modifié sa composition première. La quantité d'alcali, combinée à la silice, a subi de cette manière une réduction continue, et le rapport primitif 1 : 2 ou 1 : 3 est devenu 1 : 9. A cet état de saturation, une certaine proportion de silice cessant d'être soluble, a dû se déposer, et il semble assez vraisemblable que la quantité de silice qui se dépose journellement correspond à la quantité d'alcali qui se trouve saturée sans cesse, soit par suite de l'action des fumerolles, soit par l'effet de l'oxydation des sulfures alcalins transformés en sulfates au contact de l'oxygène de l'atmosphère.

Le silicate alcalin, dont nous supposons la préexistence, ne

(1) Je dois rappeler à cette occasion les travaux de M. Forchhammer sur les silicates artificiels de potasse et de soude. (*Annales des mines*, t. IX, 3^e série.)

peut-il pas avoir été enlevé aux roches qui servent de réservoir à ces eaux? A cette occasion, je dois exposer ici le résultat de quelques essais que j'ai commencés pour étudier quelle est l'action de l'eau pure sur certains silicates. Comme les silicates de soude ne se trouvent dans la nature que combinés avec une notable proportion d'alumine, j'ai voulu, pour ces essais, me renfermer dans la limite des composés naturels, et j'ai choisi d'abord un minéral qui se trouve assez répandu parmi les roches volcaniques anciennes. Ce minéral est la mésotype. Il est, comme on le sait, composé de soude, d'alumine, de silice et d'eau, dont les quantités d'oxygène sont entre elles comme 1 : 3 : 6 : 2. Si l'on chasse l'eau de cette substance, par une faible calcination, on obtient un produit qui représente exactement la composition du Ryacolith, espèce minérale de même formule que le Labradorite, et que l'on considère comme faisant partie constituante de beaucoup de roches trachytiques. En chassant l'eau de la mésotype, je me suis donc procuré du ryacolith pur, mais désagrégé, et offrant la propriété de se combiner de nouveau avec une certaine proportion d'eau, ainsi qu'il arrive pour le gypse cuit. Une quantité de cette matière, pesant 8^{sr},9770, a été placée dans une capsule de platine remplie d'eau distillée, et exposée pendant vingt-quatre heures à une température de 50° à 60° centig. La liqueur bien éclaircie a été évaporée à siccité dans une autre capsule de platine. Il est resté un résidu notable de matière alcaline silicifère. Traitée par l'eau, cette matière s'est redissoute, et quelques gouttes d'acide chlorhydrique y ont déterminé une effervescence. Évaporée de nouveau, à une faible chaleur, la liqueur a laissé apparaître des cristaux très nets de chlorure sodique.

J'ai renouvelé cette expérience avec quelques modifications.

12^{sr},8190 de mésotype préalablement chauffés au rouge, dans un creuset de platine, ont été mis en digestion dans un ballon de verre, avec 5 décilitres d'eau distillée ajoutés et décantés successivement. Chaque digestion a duré de vingt à vingt-quatre heures, sous l'influence d'une température de 80° à 90°.

Chaque décilitre, évaporé à siccité, a donné un résidu salin dont le poids a été déterminé.

Résidu donné par le 4 ^{er} décilitre.			0 ^{sr} ,4330
Id.	2 ^e	—	0 ,0950
Id.	3 ^e	—	0 ,0850
Id.	4 ^e	—	0 ,0770
Id.	5 ^e	—	0 ,0540
Poids total de ces résidus.			0, 4410

Traitée par l'eau, la matière saline s'est redissoute en grande partie; cependant la liqueur est restée troublée par une matière floconneuse très lente à se déposer. La liqueur exerçait une réaction alcaline. Traitée par l'acide chlorhydrique, elle a manifesté une vive effervescence, et est devenue parfaitement limpide. Évaporée à siccité, elle a laissé apparaître des cristaux de chlorure sodique. Le dépôt salin, repris par l'acide chlorhydrique, et par l'eau, s'est dissous en majeure partie en laissant une quantité notable de silice pure. La liqueur, séparée de la silice, a été saturée d'ammoniaque. Il s'est précipité de l'alumine qui a été recueillie. La liqueur séparée de l'alumine a été évaporée à siccité, et le résidu chauffé au rouge pour chasser les sels aminoniques. Le poids du chlorure sodique, resté fixe, a servi à évaluer la proportion de la soude.

Cette analyse a donné :

Silice	0,0395	} Matière dissoute par 1/2 litre d'eau.	0,3453
Alumine.	0,0360		
Soude.	0,2398		
Acide carbonique (par différence).	0,1257		
	0,4410		

Ainsi, un demi-litre d'eau, agissant par fractions sur 12^{gr},8190 de méso-type préalablement calcinée, a pu dissoudre 0^{gr},3153 des parties constituantes du minéral. L'acide carbonique, qui figure dans cette analyse avait été enlevé à l'air ambiant par la liqueur alcaline, pendant que cette liqueur était soumise à l'évaporation.

Si l'on compare entre elles les quantités d'oxygène de la silice et de la soude dissoutes par l'eau, on trouve le rapport suivant :

		Oxygène.	Rapports.
Silice	0,0395	— 0205	— 4
Soude. . . .	02398	— 0613	— 3

Ce rapport est l'inverse de celui qu'on observe sur les quantités de silice et de soude contenues dans les eaux du Geyser et de Laugarnes. Il montre cependant avec quelle facilité certains silicates alumineux alcalins peuvent être attaqués et décomposés par l'eau. On savait déjà que l'eau distillée enlève aux vases de verre, dans lesquels on la fait bouillir, des quantités appréciables de silice; dans la dernière expérience que je viens de décrire, le minéral, mis en contact avec l'eau chaude, était contenu dans un ballon de verre; l'opération terminée, je n'ai remarqué aucune altération sur ce ballon : il semble que l'action dissolvante de l'eau se soit ainsi portée exclusivement sur le minéral. En opérant, en premier lieu,

dans des vases de platine, j'ai cru d'ailleurs prévenir l'objection qu'on aurait pu me faire sur l'origine des matières dissoutes par l'eau.

Ces observations me semblent venir à l'appui de l'opinion que j'ai émise sur l'origine de la silice et des sels contenus dans les sources chaudes de l'Islande. L'eau, agissant à une température de plus de 120°, sous une pression très considérable et pendant une durée indéfinie sur les roches trachytiques et zéolithiques probablement désagrégées qu'elle pénètre et traverse, doit dissoudre une proportion notable des éléments qui constituent ces roches. Or, ces éléments ne sont autres que la silice, l'alumine, la soude, la potasse et la chaux. L'alumine et la chaux ne restent pas longtemps en dissolution dans les liqueurs siliceuses alcalines; ces deux matières, en effet, m'ont paru ne pas se trouver, du moins en quantité appréciable, dans la plupart des eaux dont j'ai fait l'analyse; la silice, la soude et la potasse y sont, au contraire, fort abondantes, et s'y conservent en différentes proportions.

Je me propose de continuer ces recherches en étudiant l'action de l'eau sur d'autres silicates naturels, et sur les roches d'origine volcanique.

M. Boubée dit que M. Damour nous met sur une voie très précieuse, et cependant il croit qu'en s'attachant exclusivement à la mésotype il s'écarte du but même qu'il semble se proposer; qu'il y a une foule d'autres silicates et particulièrement les feldspaths, qu'il faudrait essayer.

M. Damour répond qu'il n'a pas eu la mésotype seule en vue; qu'il a commencé cet essai sur la mésotype comme il eût pu le faire sur toute autre espèce minérale, et que les dernières lignes de la notice qu'il vient de lire exprimaient suffisamment son intention d'appliquer ce genre d'essai à des roches de différente nature.

M. Descloizeaux lit la note suivante :

Observation sur les deux principaux Geysers de l'Islande,
par M. Descloizeaux.

Les deux principales sources thermales jaillissantes dont M. Descloizeaux a observé les températures à différentes profondeurs, au mois de juillet 1846, sont celles qui sont connues sous les noms de *Grand-Geysir* et de *Strokkur*.

Les expériences ont été combinées de manière à connaître les températures à différents niveaux, immédiatement avant et immé-

diatement après une grande éruption. Ces températures ont aussi été déterminées pendant une éruption et dans l'intervalle de deux éruptions consécutives.

Les thermomètres employés par M. Descloizeaux étaient des thermomètres à déversement, construits, sur les indications de M. Regnault, par Buntén. M. Bunsen, professeur de chimie à Marbourg, qui se trouvait en Islande en même temps que M. Descloizeaux, a employé concurremment et aux mêmes expériences, des thermomètres construits par lui-même sur le même principe que ceux de M. Descloizeaux, et n'en différant que par quelques détails de construction.

Voici les résultats obtenus par ces deux observateurs :

1° *Grand Geysir.*

Le 7 juillet, à deux heures cinquante-cinq minutes du soir, quatre heures avant une grande éruption : bassin rempli; profondeur totale, 23^m,50; longueur de la ligne, 22^m,85.

Températures.	Hauteurs.
85°,0	22 ^m ,85
85°,2	49 ^m ,55
106°,4	44 ^m ,75
120°,4	9 ^m ,85
123°,0	5 ^m ,00
127°,5	0 ^m ,30
	fond.

Température moyenne, 108°,33

Le 7 juillet, à neuf heures quarante-cinq minutes du soir, deux heures après une grande éruption : le bassin à moitié plein; hauteur de la colonne d'eau, 22^m,75; longueur de la ligne, 22^m,50.

Températures.	Hauteurs.
85°,0	22 ^m ,50
103°,0	43 ^m ,50
121°,0	9 ^m ,70
122°,5	0 ^m ,30
	fond.

Température moyenne, 108°,83

Le 7 juillet, à six heures cinquante-huit minutes du soir, dix minutes avant une grande éruption : bassin rempli, profondeur totale, 23^m,50; longueur de la ligne, 22^m,85.

Températures.	Hauteurs.
85°,0	22 ^m ,85
84°,7	49 ^m ,55
110°,0	44 ^m ,75
121°,8	9 ^m ,85
126°,5	0 ^m ,30
	fond.

Température moyenne, 109°,49

Le 6 juillet, à huit heures vingt minutes du soir, neuf heures après une grande éruption, et vingt-trois heures avant l'éruption suivante : bassin rempli; longueur de la ligne, 22^m,85.

Températures.	Hauteurs.
85°,0	22 ^m ,85
82°,6	49 ^m ,20
85°,8	44 ^m ,40
113°,0	9 ^m ,60
122°,7	4 ^m ,80
123°,6	0 ^m ,30
	fond

Température moyenne, 102°,30

Le 14 juillet, à trois heures quinze minutes du matin, un thermomètre, plongé à 4 mètres au-dessus du fond pendant une grande éruption, a accusé une température de $124^{\circ},24$.

Les résultats, consignés dans ce tableau, montrent donc qu'il y a, au fond du *Grand-Geysir*, un maximum de température immédiatement avant, et un minimum immédiatement après les grandes éruptions; la température moyenne de la colonne totale variant d'ailleurs dans des limites assez restreintes.

Le calcul montre que le point d'ébullition d'une colonne d'eau, ayant la hauteur et la densité de celle du Geysir, serait :

Dans les circonstances où ont été faites les deux premières expériences, de $136^{\circ},15$

Maximum trouvé 127° en moyenne.

Différence $9^{\circ},15$.

Dans les circonstances où ont été faites les troisième et quatrième expérience, ce point d'ébullition serait de $135^{\circ},398$, et $136^{\circ},28$. Les minima trouvés dans ces expériences sont $122^{\circ},5$ et $123^{\circ},60$.

La différence avec le calcul est donc de $12^{\circ},898$ et $12^{\circ},68$.

Ainsi, au point le plus bas de la colonne du Geysir que le thermomètre puisse atteindre, l'eau n'est pas en ébullition.

Il faut donc en conclure que le foyer quelconque qui chauffe cette eau n'est pas placé immédiatement au-dessous de ce point inférieur, mais qu'il en est situé à une distance peut-être très considérable.

Cette circonstance, ainsi que l'existence d'un maximum et d'un minimum de température, ont conduit M. Descloizeaux à donner l'explication suivante de la manière dont doit se produire le phénomène du Geysir.

Supposons que la colonne d'eau du Geysir communique par un canal long et sinueux avec l'espace quelconque qui reçoit l'action directe de la chaleur souterraine; après une grande éruption, pendant laquelle il y a eu projection d'une grande quantité d'eau et de vapeur, les parties inférieures de la masse liquide sont refroidies, et la vapeur d'eau qui arrive toute formée du réservoir soumis à l'action de la chaleur, a une tension moindre que celle à laquelle peuvent faire équilibre le poids de la colonne d'eau et celui de l'atmosphère; cette vapeur vient donc se condenser au contact de l'eau qui remplit le canal sinueux, et elle abandonne à cette eau sa chaleur latente. L'accroissement de température de l'eau du canal se transmet de proche en proche jusqu'à la partie inférieure de la colonne centrale du Geysir, où le ther-

momètre peut pénétrer, mais cet accroissement est retardé par l'air atmosphérique et les autres gaz que la vapeur entraîne avec elle ; cependant, au bout d'un temps plus ou moins long, l'eau du canal doit bouillir, et la vapeur qui continue à se former ne peut plus s'y condenser ; cette vapeur doit donc s'accumuler et acquérir une tension de plus en plus grande, jusqu'à ce que cette tension soit capable de vaincre la résistance de la colonne d'eau, et de la lancer en l'air.

Si le dégagement souterrain de vapeur était parfaitement régulier, les éruptions devraient se succéder à des intervalles à peu près égaux ; mais il n'en est pas ainsi, et une série d'observations commencée le 3 juillet et terminée le 15, a montré qu'il y a, à peu d'exceptions près, une éruption tous les jours, mais que les intervalles qui séparent deux éruptions consécutives varient de douze à trente heures. Les deux plus hautes éruptions de la première quinzaine de juillet, dont la hauteur au-dessus de la base du cône du Geysir a été mesurée par M. Sartorius de Waltershausen, ont atteint, l'une 47^m,10, et l'autre 49^m,37.

2^o *Strokkur*.

Le Strokkur, situé à une petite distance du Grand-Geysir, offre des dimensions beaucoup moins considérables que celui-ci ; cependant les éruptions atteignent des hauteurs tout aussi grandes sans offrir plus de régularité dans leur retour.

Voici les températures qui ont été observées à différentes hauteurs de la colonne d'eau qui remplit le canal du Strokkur :

Le 8 juillet, à quatre heures trente-huit minutes du soir ; hauteur de la colonne d'eau au-dessus du fond, 40^m,45.

Températures.	Hauteurs.
100°,0	40 ^m ,45
108°,0	6 ^m ,00
111°,4	3 ^m ,00
112°,9	0 ^m ,30
	fond.

Température moyenne, 104°,77

Le 9 juillet, à cinq heures trente-deux minutes du soir, une heure après une grande éruption : hauteur de la colonne d'eau au-dessus du fond, 40^m,50.

Températures.	Hauteurs.
100°,0	40 ^m ,50
100°,5	9 ^m ,20
109°,3	6 ^m ,20
114°,2	2 ^m ,95
	fond.

Température moyenne, 105°,79

Le 40 juillet, à six heures cinquante-sept minutes du soir, six heures après une grande éruption : hauteur de la colonne d'eau au-dessus du fond, 40 mètres.

Température au fond pendant une grande éruption, 445°.

Températures.	Hauteurs.
99°,9	40 ^m ,00
99°,9	8 ^m ,85
443°,7	4 ^m ,65
443°,9	0 ^m ,35
	fond.

Température moyenne, 405°,27

Le point d'ébullition d'une colonne d'eau d'une hauteur égale à celle du Strokkur, serait à sa base de 120°,043.

Le maximum trouvé est de 445° ; c'est donc une différence avec le point d'ébullition de 5°,043.

Ainsi, comme au grand Grand-Geysir, la colonne qui remplit la canal du Strokkur ne bout pas à sa partie inférieure ; l'explication donnée pour la première de ces sources jaillissantes s'applique donc également à la seconde.

M. Martins demande si l'explication de M. Descloizeaux diffère de celle de M. Lottin.

M. Descloizeaux répond que M. Lottin n'a fait que répéter ce qu'a dit Mackensie.

A la suite de la communication de M. Descloizeaux, M. Angelot exprime l'opinion que, dans les canaux sinueux et les cavernes servant de conduits ou de réservoirs aux eaux des Geysers, l'accumulation des vapeurs d'eau n'est que la conséquence de l'équilibre existant dans l'eau entre les températures et les pressions supportées, et de l'addition à chaque instant d'une nouvelle quantité de chaleur. L'équilibre, dans l'eau, des températures avec les pressions supportées est la loi *générale*, non seulement des Geysers et autres sources jaillissantes d'Islande, mais ce doit être celle de toutes les sources *bouillantes* dans tous les pays ; et cela, quelle que soit la source de chaleur ; que ce soit des roches fortement échauffées, ou même des matières minérales liquides à de grandes profondeurs, pourvu toutefois que cette source de chaleur soit suffisante et placée par en-bas ; ce qui est ici le cas le plus probable.

C'est, en un mot, le phénomène de l'ébullition de l'eau sur une très grande échelle, mais dans un vase chauffé par dessous et d'une forme particulière.

Si l'observation des températures de l'eau à diverses profondeurs, dans les puits des Geysers, donne des résultats inférieurs de quelques degrés centigrades à ceux que doit donner cette théorie, ces résultats n'y sont cependant pas contraires; ils en sont même beaucoup plus rapprochés que de ceux de la théorie de la diminution des températures avec l'augmentation de la profondeur, ou même de l'égalité des températures à toute profondeur. La cause de cette différence, d'ailleurs *assez légère*, est la perturbation momentanée que les éruptions apportent à l'état normal, parce que l'eau rejetée est remplacée par des eaux plus froides et originaires de la surface, apportées par d'autres canaux. Dans ces nouvelles eaux, la détente opérée de la vapeur d'eau produite inférieurement tend à ramener l'équilibre des températures avec les pressions, jusqu'à ce que, l'absorption de cette vapeur ne pouvant plus avoir lieu, le bouchon aqueux soit de nouveau projeté. Aussi les intervalles entre les éruptions *naturelles* doivent être à peu près proportionnels à la quantité d'eau projetée; c'est-à-dire que l'intervalle entre deux éruptions doit être d'autant plus grand que la projection d'eau dans l'éruption précédente a été plus considérable, puisque la source de chaleur restant à peu près constante, la quantité d'eau à réchauffer est plus considérable. Mais la température des eaux superficielles amenées par des canaux différents doit être quelque peu variable par suite des variations de la température extérieure, et aussi suivant leur abondance plus ou moins grande et leur séjour plus ou moins prolongé dans les réservoirs où elles se rassemblent. Il en résulte dès lors certaines variations dans la durée du réchauffement et par suite dans la proportionnalité absolue des éruptions d'eau et dans la régularité de leur intermittence. Cette explication des phénomènes des Geysers a d'ailleurs beaucoup d'analogie avec celle par laquelle on peut rendre compte de l'intervention des eaux superficielles dans les phénomènes volcaniques.

M. Descloizeaux répond que les dissolutions ne suffisent pas pour expliquer les différences de températures observées.

M. Martins demande de quels instruments M. Descloizeaux s'est servi.

M. Descloizeaux répond qu'il s'est servi des thermomètres à déversement construits par Buntén.

M. Boubée ne comprend pas la distribution de la chaleur dans les Geysers indiquée par M. Descloizeaux ; il croit que ces eaux devraient être à une température uniforme après une éruption.

M. de Verneuil présente à la Société une Orthocératite gigantesque qu'il a rapportée d'Amérique, et donne les détails suivants sur les caractères et le gisement de cette espèce.

Les Orthocératites, de même que les Ammonites, atteignent parfois des dimensions que n'offrent plus les Céphalopodes actuels. Sous le rapport du volume et du poids, la coquille la plus considérable de nos jours se rencontre parmi les Acéphales ; tout le monde connaît la *Tridacne gigantesque* (Lam.), cette coquille qui semble être hors de proportion avec toutes les autres. Quoique beaucoup plus pesante sans doute que n'ont dû l'être les coquilles pélagiennes des Orthocératites, les Tridacnes sont bien moins longues, et aucune coquille, soit des temps géologiques, soit des mers actuelles, ne peut être comparée, sous ce rapport, à certaines espèces d'Orthocératites, telles entre autres que celle que je mets sous les yeux de la Société. Cette grande longueur des Orthocératites avait déjà attiré l'attention des paléontologistes et plusieurs auteurs avaient soupçonné qu'il pouvait en avoir existé de 2 mètres de long. C'est la taille que M. d'Archiac et moi nous avons assignée à l'*O. triangularis*, décrite dans notre mémoire sur les fossiles du terrain ancien des bords du Rhin. Cependant, jusqu'à présent, les échantillons connus dans les plus riches collections étaient loin d'atteindre cette dimension, et le fragment que nous possédons de l'*O. triangularis* n'a que 36 centimètres. Les échantillons les plus beaux que nous ayons vus sur les grandes dalles de calcaire rouge de la Dalécarlie, près du lac Siljan, n'avaient qu'environ 66 centi-

(1) Cette espèce, très différente de la nôtre par sa forme effilée, n'a que 2 centimètres $1/2$ de diamètre, c'est-à-dire le huitième de celle que je présente ici.

mètres (2 pieds); enfin la magnifique espèce que M. DeFrance a présentée l'année dernière à la Société, et dont il a enrichi les galeries du Muséum d'histoire naturelle, n'a qu'un mètre de long, et n'offre que 74 cloisons.

L'échantillon que j'ai rapporté d'Amérique a 1^m,85 de longueur, et on y compte 125 cloisons. Il est composé de plusieurs fragments trouvés dans la même carrière, et ayant appartenu, sinon au même individu, du moins à la même espèce. Le diamètre de la coquille, mesuré à l'endroit de la dernière chambre, est de 20 à 22 centimètres, et la longueur de la dernière chambre de 40 centimètres. Ainsi que je viens de le dire, l'échantillon est fracturé, et si l'on cherche à le restaurer, voici ce que l'on observe. Le dernier fragment est encore d'un diamètre considérable (7 centimètres), et il est facile de s'assurer que son extrémité est loin d'être celle de la coquille. En mesurant le décroissement du cône, on est conduit à supposer qu'il manque à cette partie au moins 70 à 75 centimètres. Entre les deux principaux fragments, c'est-à-dire vers le milieu, il y a également une partie qui manque, et qui devait avoir environ 30 centimètres; enfin la dernière loge paraît être brisée à son ouverture, et, en y ajoutant 20 centimètres, on restera encore au-dessous de la vérité. Ainsi restaurée, cette espèce aurait au moins trois mètres.

Quant au nombre total présumé des cloisons, on voit que celles qui existent, très rapprochées les unes des autres, sont espacées de 10 à 13 millimètres près de la bouche, et de 5 à 6 à l'autre extrémité. Si on ajoute à cette extrémité, là où les cloisons sont très serrées, une longueur de 70 centimètres qui lui manque, on aura environ 100 cloisons de plus; la partie médiane qui manque pouvait avoir encore 25 cloisons, en sorte qu'on arrive à 250 pour le nombre total des cloisons dans cette espèce. Ces cloisons sont assez bombées; leur convexité, mesurée là où la coquille a un demi-mètre de circonférence, est à peu près de 4 centimètres. Ainsi 3 mètres de long, 60 à 64 centimètres de circonférence, et 250 cloisons, telles sont en somme les dimensions et les divisions naturelles de cette gigantesque coquille. De pareilles proportions ne semblent-elles pas inconciliables avec l'idée que conservent encore certains paléontologistes, que les *Orthocératites* ont été des coquilles internes?

Pour achever de faire connaître cette espèce, il est important de parler du siphon. Placé sur le bord de la coquille, il occupe une partie de la cloison d'autant plus grande que l'animal est plus vieux, c'est-à-dire le tiers dans le jeune âge et la moitié dans l'âge

adulte. Le docteur Dale Owen possède une Orthocératite de la même formation, où le siphon occupe les trois quarts de la coquille. Dans la mienne, le siphon paraît n'avoir été destiné qu'à contenir une partie charnue, qui l'a laissé vide après la mort de l'animal, car il est rempli, tantôt de spath calcaire, tantôt d'une pâte semblable à celle qui remplit les cloisons. Dans l'espèce que j'ai vue chez le docteur Owen, le siphon, au contraire, présente un tube calcaire intérieur, comme dans certaines espèces provenant du *Trenton limestone* de l'État de New-York (1).

Quelle que soit la disproportion de ce siphon avec celui des Nautilites, je suis porté à croire qu'il avait la même destination, c'est-à-dire celle de fixer l'animal à son enveloppe calcaire. Dans des coquilles droites et aussi longues, où les cloisons n'étaient pas maintenues par leur forme spirale, on conçoit que l'animal ait eu besoin d'un muscle beaucoup plus fort que chez les Nautilites, et d'ailleurs l'existence, dans certaines Orthocératites, de siphons assez semblables à celui du Nautilite, et le passage qu'on observe entre ces petits siphons et ceux qui nous occupent, conduisent encore à la même conclusion.

C'est un fait assez général et qui m'a frappé, que les Orthocératites à large siphon latéral ne se rencontrent que dans l'étage inférieur du système silurien. Celle que je présente ici a été trouvée à Galena, petite ville située au N. de l'État des Illinois, sur un affluent du Mississippi nommé *fever river*. La carrière d'où elle a été extraite est ouverte dans un calcaire bleuâtre, connu sous le nom de *blue limestone* par les géologues des États du Tennessee, de l'Ohio et d'Indiana. Le *blue limestone* correspond à ce grand ensemble de couches que les géologues de New-York ont désigné sous le nom de *Hudson river group* et de *Trenton limestone*, et qui forme la partie supérieure et moyenne de ce que nous appelons étage silurien inférieur. Pour le comparer à nos dépôts d'Europe, je dirai que c'est à peu près le *Caradoc sandstone* et les *Llandeilo flags* des géologues anglais. Avec l'Orthocératite et dans les mêmes couches, se rencontrent les fossiles suivants : *Isotelus megistos* (Locke), *Ceraurus pleurexanthemus* (Green), *Subulites elongata* (Emmons), *Leptæna alternata* (Emmons), *L. semi ovalis* (voisine du *L. sericea*), *Orthis testudinaria* (Dalm.). Ces espèces sont les

(1) C'est dans un tube semblable que se moulent ces corps allongés que M. Eichwald a appelés *Hyolithes*, et que l'on trouve aux environs de Saint-Petersbourg. Voir notre ouvrage sur la Russie et l'Oural, vol. II, p. 350.

plus caractéristiques du *blue limestone*, et se rencontrent de l'E. à l'O., depuis l'État de New-York jusque sur les bords du haut Mississippi, c'est-à-dire sur des points éloignés de 17° en longitude, et du N. au S., depuis Galena jusqu'aux frontières méridionales de l'État de Tennessee, c'est-à-dire sur 8° en latitude. Qu'on ne croie pas toutefois que l'étage inférieur du système silurien soit à découvrir sur tout cet espace : il y est souvent recouvert par l'étage silurien supérieur, par le système devonien, et par ces magnifiques dépôts carbonifères qui feront un jour la fortune des États-Unis.

Galena est situé près du point de contact des étages inférieur et supérieur du système silurien, et notre grande Orthocératite est à peine à 100 pieds au-dessous de cette limite. Le terrain silurien supérieur se compose d'un calcaire magnésifère très riche en plomb, qui constitue la région métallifère du haut Illinois et du Wisconsin, et sur lequel je reviendrai plus tard. Il existe, à ne prendre que les caractères minéralogiques, une démarcation assez nette entre le *blue limestone* et le calcaire magnésien métallifère qui le surmonte, mais cette démarcation minéralogique ne correspond pas à la division des deux grands étages siluriens fondée sur les caractères paléontologiques. Les couches les plus basses du calcaire magnésien contiennent encore des fossiles de l'étage silurien inférieur, de sorte que la division des deux étages du système silurien s'établit vers la partie inférieure du calcaire magnésien, mais non pas à sa base, et ne correspond à aucune différence tranchée dans la nature minéralogique des couches.

Je terminerai en proposant pour cette espèce le nom d'*O. Herculeanus*, celui d'*O. giganteus* ayant déjà été employé par Sowerby, et en faisant remarquer les grands rapports qu'elle a avec les *O. duplex* et *communis* des calcaires siluriens inférieurs de la Russie et de la Suède, dont elle ne se distingue que par sa taille et par ses cloisons un peu plus rapprochées.

M. Le Blanc montre un globe de 0^m,56 de diamètre, qui a été publié par M. Albrecht Platt, à Magdebourg. Ce globe, très bien fait, sur lequel sont rapportés les courants marins, a été colorié géologiquement par M. Le Blanc, d'après la carte de M. Boué.

Addition à la séance du 1^{er} mars 1847.

M. Leymerie, qui considère depuis longtemps le terrain à Nummulites comme lié au terrain évidemment crétacé du midi de la France, annonce qu'il a tout récemment découvert une preuve évidente de ce fait important. Ce fait consiste en la présence, comme fossile habituel, de la Térébratule qu'il a décrite sous le nom de *T. tenui-striata* et de l'*Ostrea lateralis* Nilson, d'une part dans des marnes d'un gris bleuâtre, riches en fossiles tertiaires du bassin de Paris, et, d'autre part, au milieu de marnes identiques minéralogiquement à celles-ci, qui dépendent d'un terrain où il n'existe plus de fossiles tertiaires, mais bien des fossiles évidemment crétacés, par exemple : le *Pecten striato-costatus*, *Ostrea carinata*, *Terebratula alata*, *Exogyra cornu-arietis*, *Ananchytes ovatus*, etc. Pour M. Leymerie ces deux assises marneuses, dont l'une s'observe en un grand nombre de points des Corbières, et dont l'autre gît dans les départements de la *Haute-Garonne* et des *Hautes-Pyrénées*, ne sont que deux faciès d'un seul et même terrain, et constituent un passage paléontologique irrécusable entre la faune tertiaire et la faune crétacée.

M. Leymerie rappelle, à ce sujet, une idée qu'il a déjà émise dans une autre circonstance, et qui consiste en ce que les types géognostiques de la région méditerranéenne, à partir du trias, ne paraissent pas concorder avec ceux admis d'après les travaux des géologues du nord de l'Europe. Peut-être faudrait-il un cadre spécial pour les terrains du midi. C'est sous l'empire de cette idée qu'il a considéré le terrain à Nummulites méditerranéen comme pouvant représenter à la fois la partie supérieure du *T. crétacé* et la partie inférieure du *T. tertiaire* du nord, manière de voir qui se trouve assez bien représentée par l'expression d'*épicrotécé* dont il se sert pour désigner le terrain en question.

M. Leymerie profite de cette circonstance pour appeler l'attention de la Société sur le danger d'employer exclusivement les caractères paléontologiques dans la détermination et dans le classement des terrains.

M. Boubée répond à M. Leymerie :

Il est évident pour moi que tous les terrains tertiaires du Midi doivent être élevés d'un étage : ainsi il y a longtemps que j'ai soutenu que le prétendu terrain diluvien de l'Aude, notamment le diluvium des cavernes à ossements, devait être considéré comme postdiluvien, et j'ai cherché aussi à démontrer que les terrains qui occupent la presque totalité du département de la Haute-Garonne et une partie des départements qui l'entourent appartiennent, non pas au terrain tertiaire supérieur, comme on le pense, mais au terrain quaternaire de quelques auteurs, nom fort impropre, et auquel j'ai proposé de substituer le nom de *postdiluvium*, en divisant ce terrain en deux groupes : le *postdiluvium sicilien* pour les dépôts marins, et le *postdiluvium toulousain* pour les dépôts lacustres. (Voir mon *Manuel de géologie*, p. 202, 4^e édit.) — J'ai montré que les terrains de Perpignan sont aussi postdiluviens (*postdiluvium sicilien*), et non pas tertiaires supérieurs, comme on le soutenait. Si maintenant on démontre que le terrain tertiaire inférieur de Bordeaux est du terrain tertiaire moyen, il en résultera que les calcaires de l'Agenais et les autres formations marines de Bordeaux appartiennent à l'étage supérieur, et qu'ainsi il faut remonter d'un degré tous ces groupes, qu'on avait tous classés d'un étage trop bas pour les avoir considérés chacun isolément.

M. Dufrénoy fait remarquer que le terrain à Nummulites est recouvert, près de Saint-Justin, dans les Landes, par le calcaire grossier en couches horizontales, en sorte qu'il lui paraît plus rationnel d'associer le calcaire à Nummulites avec les formations crétacées qu'avec les terrains tertiaires. Quant à l'association qu'il fait du calcaire de Saint-Justin au calcaire grossier, elle repose sur deux observations : la première, son identité avec le calcaire de Saint-Macaire et de Blaye, dont la position sur la craie est bien caractérisée dans les départements de la Dordogne et de la Gironde ; la seconde, le grand nombre de fossiles communs entre ce calcaire et celui désigné par le nom de calcaire grossier dans le terrain de Paris.

M. Leymerie répond que, sans avoir visité les localités citées par M. Dufrénoy, il connaît parfaitement les faits dont il s'agit, faits qui se trouvent consignés dans les Mémoires de ce savant géologue. Mais la discordance de stratification sur laquelle s'ap-

puie M. Dufrénoy perdrait beaucoup de son importance, si le terrain calcaire marin de Saint-Justin était, ainsi que celui de Bordeaux (non pas celui de Blaye), supérieur au terrain lacustre du bassin sous-pyrénéen, comme les travaux récents des géologues du Midi tendraient à le faire croire; car il faudrait alors ranger ces calcaires dans la mollasse.

A l'occasion de la communication de M. Leymerie, M. Élie de Beaumont expose en peu de mots la manière dont il a classé, dans ses derniers cours, la partie de la série des terrains stratifiés qui s'étend du grès vert au calcaire grossier.

M. Élie de Beaumont croit que si la série des terrains fossilifères était complètement connue, on n'y trouverait nulle part, entre les fossiles de deux étages immédiatement superposés, une différence plus essentielle que celle qui existe entre deux étages tertiaires consécutifs. « Puisqu'on a reconnu un certain nombre d'espèces communes entre les deux étages tertiaires (éocène et miocène), il ne voit pas pourquoi la même chose n'aurait pas lieu entre la craie et le terrain tertiaire (1); » car les soulèvements qui sont survenus pendant les périodes tertiaires et qui les ont séparées les unes des autres ayant été au nombre des plus violents, ils doivent avoir été aussi des plus propres à occasionner une grande différence entre les deux faunes qui, avant et après chacun de ces soulèvements, ont peuplé une même portion de la surface du globe. M. Élie de Beaumont s'est élevé depuis longtemps, soit dans ses cours, soit dans ses communications à la Société géologique, contre l'opinion qui regarderait chacune des révolutions de la surface du globe comme ayant déterminé, non seulement des déplacements (2),

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 384. Séance du 5 mai 1834.

(2) Des déplacements de populations suffisent quelquefois pour expliquer les différences, souvent si tranchées, qu'on observe entre les fossiles de deux couches superposées. Dans mes recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe, je me suis servi d'expressions telles que celles-ci : *Une violente commotion, à laquelle il est probable qu'aucun être vivant n'avait pu échapper, si ce n'est à une grande distance des contrées et des mers qui en avaient été le théâtre immédiat* (*Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 325, 1829). *Le renouvellement presque périodique de la population ani-*

mais encore un renouvellement complet des êtres vivants. Ayant cherché à établir que les révolutions de la surface du globe se sont réduites à des soulèvements de montagnes circonscrits, chaque fois, dans un simple fuseau de la sphère terrestre, il ne pouvait être conduit, par ses propres idées, à attribuer aux effets destructeurs de chacune d'elles un renouvellement intégral de la nature organique sur tout le globe. De même que les terrains tertiaires, les terrains silurien, dévonien, carbonifère et permien, dont les dépôts ont été séparés en Europe par des dislocations si bien marquées, présentent cependant en Europe et dans les contrées mêmes où ils sont superposés en stratification discordante, des espèces communes qui font de chacun de ces terrains l'*Eocène* des terrains suivants. Si quelques parties de la série géologique présentent, en apparence, des lignes de démarcation paléontologiques complètement tranchées, telles que celles qui sont signalées entre les terrains paléozoïques et le grès bigarré, et entre le muschelkalk et le lias, cela provient, dans son opinion, de ce que certaines faunes intermédiaires, telles que celles du grès des Vosges, de la partie inférieure du grès bigarré et des marnes irisées, nous sont encore entièrement ou à peu près inconnues. La faune si curieuse que MM. le comte Munster, Wissmann et Klipstein ont signalée à Saint-Cassian lui semble destinée à faire disparaître la lacune correspondante aux marnes irisées, et le terrain nummulitique lui paraît devoir combler de même une lacune qui existerait, suivant lui, entre la période de la craie blanche et celle de l'argile plastique. Lorsque les fossiles de tous les terrains seront complètement connus, depuis le terrain silurien jusqu'au terrain pliocène, ils formeront peut-être, dans leur vaste ensemble, une série aussi continue que l'est aujourd'hui la série partielle des terrains jurassiques et

male et végétale de chaque contrée (*Annales des sciences naturelles*, t. XIX, p. 226, 1830). Ces expressions indiquent assez ce que j'entrevois de partiel et de local dans les destructions d'êtres vivants opérées par les révolutions de la surface du globe. Il faut encore ajouter que les œufs des poissons et des mollusques, de même que les graines des végétaux, ont dû échapper bien souvent, sur le théâtre même des soulèvements, à leurs effets mécaniques.

E. D. B. ;

crétacés, et que l'est, d'après le beau travail de M. de Verneuil, la série partielle des terrains paléozoïques.

Pour réunir dans une série générale ces tronçons encore discontinus, il faut travailler à faire disparaître les lacunes qui les séparent. M. Élie de Beaumont croit que les circonstances qui ont conduit les géologues à rapporter la classification des terrains crétacés et supra-crétacés à ceux de ces terrains que les illustres fondateurs de cette partie de la science ont observés dans le nord de la France et en Angleterre, leur ont fait prendre pour point de départ un type incomplet, dans lequel existait, à leur insu, entre la craie et l'argile plastique, une lacune qui correspondait à une longue période de temps; de là la différence paléontologique si considérable qui existe entre deux terrains, la craie blanche et l'étage tertiaire inférieur, qui dans le nord de la France et en Angleterre sont le plus souvent en contact immédiat l'un avec l'autre.

Des observations qui, au premier abord, ont pu paraître minutieuses, sont venues depuis longtemps signaler, aux portes mêmes de Paris, l'existence de dépôts d'un âge intermédiaire entre celui de la craie et celui de l'argile plastique, et fournir à M. Élie de Beaumont l'occasion d'indiquer la manière de voir que de nouvelles réflexions l'ont conduit à préciser davantage. « Une partie de Meudon, le chemin de la Princesse à Bougival, le Port de Marly, Vigny, Saint-Germain-Laversine, voilà déjà, disait-il dans la séance du 20 juin 1836, une première suite de points où l'argile plastique ne repose pas immédiatement sur la craie blanche ordinaire; on observe encore des faits de même genre dans le midi de la France, etc.... » Il tirait « de ces faits la conclusion qu'à la période du dépôt du terrain crétacé proprement dit a succédé une époque transitoire que l'on pourra, si l'on veut, distinguer de la période crayeuse, et pendant laquelle les eaux, très basses en certains endroits, nourrissaient une population qui différait notablement de celle qui existait lors du dépôt de la craie blanche. C'est alors que se sont formées ces couches qui offrent quelques fossiles tertiaires avec ceux de la craie (1)... »

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 4^{re} série, t. VII, p. 291. Séance du 20 juin 1836.

Au Bas-Meudon « la partie supérieure de la masse crayeuse est » formée par un calcaire jaunâtre peu solide, composé de petits grains ronds et de petits fragments de corps marins, très faiblement agrégés, à l'exception de quelques parties plus dures qui forment dans le milieu de la masse des tubercules irréguliers. On y trouve des polypiers, des coquilles turriculées, quelques bivalves et de petites coquilles multiloculaires, qui ressemblent à des milliolites (1)... La plupart des coquilles recueillies dans cette localité étant indéterminables... on doit seulement admettre ici, comme il faut l'admettre pour certains terrains crétacés du midi de la France, que plusieurs espèces animales, dont les restes se présentent abondamment dans les plus anciens terrains tertiaires, existaient déjà lors du dépôt des terrains crétacés (2).

» En différents points de l'Europe, se montrent par lambeaux discontinus de semblables dépôts, qui correspondent à l'époque pendant laquelle se sont formées les couches de Meudon. Ainsi il n'est plus possible d'y voir une anomalie (3), » et M. Élie de Beaumont est d'autant plus naturellement porté à admettre le parallélisme des divers lambeaux de terrains superposés à la craie blanche, auxquels M. Desor propose de donner collectivement p. 179 le nom d'*étage danien*, que lui-même, en 1834, il pensait que « ces couches qui, à Bougival et au Port de Marly, forment comme l'écorce de la craie..., le dépôt calcaire posé immédiatement sur la craie blanche, entre Vigny et Longuesse (Seine-et-Oise), et les couches d'un caractère anormal que M. Graves a observées sur la craie à Saint-Germain-Laversine (Oise)... pouvaient être les représentants de la craie supérieure de Maestricht. » Il les citait pour montrer que « la liste des fossiles du terrain crétacé supérieur du nord de la France pourrait bien être encore très incomplète (4). » A cette époque, il n'avait encore trouvé à

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 4^{re} série, t. VI, p. 285. Séance du 4^{er} juin 1835.

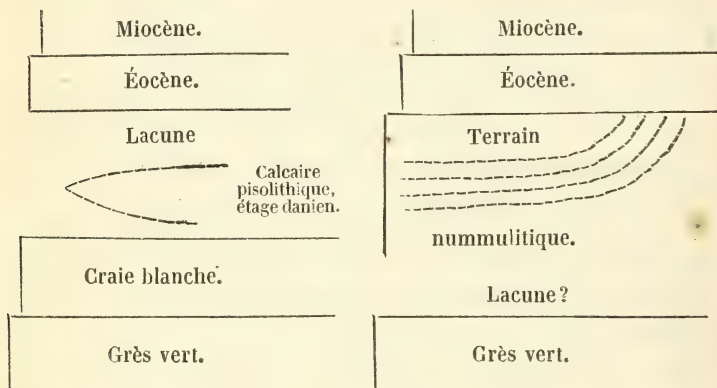
(2) *Société philomatique*, séance du 18 juin 1836. — *Journal l'Institut*, n° 164, t. IV, p. 209.

(3) *Bulletin*, 4^{re} série, t. VII, p. 291.

(4) *Bulletin*, 4^{re} série, t. IV, p. 392 et 393. Séance du 19 mai 1834.

Vigny, à Port-Marly et à Meudon que des fragments, très nombreux à la vérité, de l'oursin dont M. Desor a formé une espèce nouvelle sous le nom de *Cidarites Forchhammeri*, oursin que, bien naturellement, il n'avait pu rapporter à aucune des espèces décrites et figurées jusqu'alors.

Dans ses derniers cours M. Élie de Beaumont a figuré de la manière indiquée par le diagramme ci-dessous les relations de gisement qui lui paraissent exister tant dans le nord de la France que dans le bassin de la Méditerranée entre les terrains crétacés et supra-crétacés.



M. Dufrénoy a constaté que près des forges d'Abesse, non loin des rives de l'Adour et à Saint-Justin, sur la route de Mont-de-Marsan à Agen, le calcaire grossier, prolongement de celui de Bordeaux, repose en stratification discordante sur les couches redressées du terrain nummulitique. Ce dernier terrain constitue par conséquent un étage inférieur au calcaire grossier et tout à fait distinct de ce dernier. Il est bien constaté aujourd'hui que parmi les fossiles du terrain nummulitique « une partie appartient au terrain tertiaire, qu'une autre appartient à la craie, qu'enfin une troisième partie sont des espèces nouvelles, qui peuvent appartenir aussi bien à l'une qu'à l'autre formation..., et que la majorité numérique des fossiles appartient à des espèces différentes de celles du bassin pari-

» sien (1). » D'après ces faits, « M. Élie de Beaumont pense...
 » qu'on ne pourrait classer les couches alpines dont il s'agit
 » qu'après leur avoir appliqué la méthode des proportions nu-
 » mériques, que M. Deshayes (ainsi que M. Lyell) a si heu-
 » reusement appliquée aux divers étages tertiaires, et il croit
 » que l'application de cette méthode conduirait plutôt à séparer
 » les couches en question du calcaire grossier qu'à les en rappro-
 » cher (2). » Ces mêmes faits viennent directement à l'appui de la
 conclusion qu'à la période du dépôt du terrain crétacé propre-
 ment dit a succédé une époque transitoire, que l'on pourra,
 si l'on veut, distinguer de la période crayeuse, et pendant la-
 quelle la faune maritime, sans être encore identique avec celle de
 la mer du calcaire grossier, était déjà très différente de celle
 de la mer crétacée. « On fera, si l'on veut, une ou plusieurs
 » formations nouvelles avec les dépôts (de cette époque) si-
 gnalés en divers lieux (3). » M. de Collegno, dans une note
 qui a été imprimée dans le *Bulletin de la Société géologique*,
 t. X, p. 310 (séance du 20 mai 1839), a cherché à faire voir
 que les couches nummulitiques de la falaise de Biaritz corres-
 pondent à celles du Vicentin. M. Élie de Beaumont partage
 complètement cette opinion. A ses yeux, les localités nummu-
 litiques du Vicentin, de la vallée de Glaris, des Diablerets, de
 la vallée de Sixt, d'Entrevernes, des environs de Gap, du col
 du Lauzanier, du cap de la Mortola, des environs de Gênes,
 de Biaritz, de la Navarre, du flanc méridien du Mont-Perdu,
 de la vallée de l'Essera (en Aragon) et autres, qu'il a visitées
 de 1826 à 1838, appartiennent toutes à un seul et même étage
 de terrain; mais il est porté à croire que le terrain nummuliti-
 que, dont le dépôt, à en juger par l'énorme épaisseur qu'il
 présente, lorsqu'on y comprend le vaste système des grès à fu-
 coïdes (flysh) qui le recouvrent généralement (vallée de Barcelon-
 nette, environs de Gap, canton de Glaris), doit avoir embrassé

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 381 et 382. Séance du 5 mai 1834

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 385. (Séance du 5 mai 1834.)

(3) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. VII, p. 292. Séance du 20 juin 1836.

un très long espace de temps , est postérieur, au moins en partie, non seulement à la craie blanche, mais même à la craie de Maëstricht et au calcaire pisolithique. C'est dans cette pensée que, dans le diagramme ci-dessus, il a figuré une lacune entre la partie supérieure du grès vert et la base du terrain nummulitique. Il n'indique cependant cette dernière lacune qu'avec doute, et ses doutes sont fondés sur ce que, si les couches à hamites, scaphites, turrilites, ammonites, etc., des hautes montagnes de la Savoie, ne sont pas plus récentes que la partie supérieure du grès vert, « on ne trouve pas dans » la Provence, le Dauphiné, la Savoie, la Suisse, de couches » qu'on puisse rapprocher, par leurs fossiles, de la craie blanche de Meudon (1); » et sur ce que, dans les points de la Savoie où le terrain nummulitique repose sur les couches en question (notamment au col de Tanneverge, dans la vallée du Reposoir, à Thone, etc., les couches nummulitiques « font suite » immédiate au terrain crétacé (2), » à turrilites, etc., de manière à laisser difficilement concevoir qu'une longue période se soit écoulée entre les dépôts des deux systèmes en contact. M. le professeur Sedgwick et M. Murchisan, dans leur grand travail sur les Alpes orientales (3), ont signalé des liaisons et des passages du même genre entre les couches crétacées et des couches plus récentes dont une partie rentre dans notre terrain nummulitique. Mais comme des liaisons apparentes de cette nature ont souvent été reconnues illusoires, et comme dans les observations qu'il a faites en Crimée, postérieurement au printemps de l'année 1836, M. de Verneuil a trouvé le terrain nummulitique superposé à la craie blanche, M. Élie de Beaumont se borne à l'énoncé d'un simple doute, reconnaissant que l'existence d'une lacune considérable entre les couches à turrilites et les couches à nummulites de la Savoie et des autres parties du bassin de la Méditerranée serait, en elle-même, plus favo-

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 389. Séance du 19 mai 1834.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 389. Séance du 19 mai 1834.

(3) *Transactions of the geological society of London*, second series, t. III, p. 301.

nable à l'opinion de l'extinction progressive des espèces dites crétacées et de leur remplacement graduel par les espèces dites tertiaires et à la classification géologique qu'il rattache à cette opinion.

Si cette manière de voir était reconnue exacte, la ligne de démarcation entre les terrains secondaires et les terrains tertiaires deviendrait aussi indéterminée et aussi peu nécessaire que celle des terrains secondaires et des terrains de transition. Mais si, pour ne pas rompre d'anciennes habitudes, on veut encore conserver la dénomination générique de terrains tertiaires, il semblerait à M. Élie de Beaumont qu'on ne saurait assigner aux terrains tertiaires une limite plus convenable que celle qu'on leur avait donnée dans l'origine, en l'appliquant aux dépôts qui se sont formés après le passage de ce flot immense qui a, presque partout, détruit et remanié les couches du calcaire pisolitique, de même que les couches supérieures de la craie proprement dite. « Là où s'observent les traces de » cette révolution qui a raviné les terrains antérieurs, là commence proprement le terrain tertiaire (1). » Et comme cette révolution a coïncidé avec le soulèvement des Pyrénées, sur les flancs desquelles le terrain nummulitique se trouve redressé, M. Élie de Beaumont pense que *ce dernier terrain devra être classé parmi les terrains secondaires, quand même on le considérerait comme constituant un étage complètement distinct de tous les étages des terrains crétacés.*

M. de Verneuil remercie M. Élie de Beaumont de l'avoir cité relativement à la Crimée. Cette péninsule offre en effet cela d'intéressant, que la craie blanche, la même que celle de Meudon, s'y trouve en contact avec un dépôt analogue par ses fossiles à celui qui contient les grandes Nummulites du sud de la France. Il ajoute que, n'ayant pas dans ces derniers temps étudié d'une manière spéciale la formation nummulitique en général, il ne saurait avoir de conviction arrêtée sur le terrain auquel elle appartient; mais il rappelle que, dans son Mémoire sur la Crimée, publié il y a dix ans, il avait ex-

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1^{re} série, t. VII, p. 292. Séance du 20 juin 1836.

primé l'opinion qu'elle viendrait peut-être un jour établir un passage entre les terrains secondaire et tertiaire. « Peut-être, disait-il, admettra-t-on quelque jour que pendant l'intervalle qui paraît chez nous avoir séparé les périodes secondaire et tertiaire, la mer déposait ailleurs les calcaires à larges Nummulites, et alors se comblerait cette grande lacune qui n'a dû être qu'un accident propre aux localités que les géologues ont eu d'abord occasion d'étudier.

M. Deshayes demande à M. Élie de Beaumont où est, dans le terrain danien, la lacune dont il vient de parler.

M. Élie de Beaumont répond qu'il est difficile de préciser quelque chose à ce sujet; mais il en existe certainement une entre la craie de Maëstricht et les terrains tertiaires.

M. Leymerie répond que les espèces communes aux marnes à fossiles tertiaires et à celles à fossiles crétacés sont parfaitement en place et jouent même, dans l'un et l'autre gîte, le rôle de fossiles habituels. Quant à la question de la postériorité du terrain marin de *Saint-Justin* et de *Langon* au terrain d'eau douce sous-pyrénéen, il désirerait connaître l'opinion actuelle de M. Dufrénoy.

M. Dufrénoy répond que si l'on considère sur la carte géologique la position du calcaire de Saint-Justin, on voit qu'il se rattache par une série de petits îlots, notamment ceux de Névac et de Castelnau, au calcaire grossier de Saint-Macaire, dont on ne saurait contester l'identité avec ceux de Bordeaux et de Blaye; en sorte que rien ne lui fait penser qu'il y ait lieu de regarder le calcaire de Saint-Justin comme plus moderne, et que les conclusions qui ressortent de sa position transgressive sur le calcaire à nummulites restent dans leur entier.

M. Boubée ajoute les observations suivantes :

Cette lacune, dont parle M. Élie de Beaumont, me semble très bien rendre compte de l'état des choses, et éclairer parfaitement cette question, car elle ouvre une place toute naturelle au terrain à Nummulites qui nous occupe. Ainsi, comme je l'ai déjà dit à une autre occasion, distinguant, dans les Pyrénées, les terrains qui font partie de la chaîne elle-même et ceux qui sont en dehors de la chaîne, je rappellerai que le terrain crétacé inférieur, le

grès vert et le terrain néocomien y sont largement développés, et s'étendent même très avant dans la chaîne. Mais la craie supérieure (la craie blanche du Nord) ne se retrouve nulle part dans nos montagnes. On ne l'observe qu'en dehors de la chaîne, en deçà de ce large fossé que j'ai déjà signalé au pied des Pyrénées, et qui sépare ces montagnes des plaines de la Gascogne, comme un grand fossé stratégique sépare une place forte du terrain qui l'entoure. Eh bien, sur divers points en dehors de ce fossé, on découvre la craie blanche, caractérisée par sa structure terreuse et par ses fossiles les plus connus, notamment l'*Ananchytes ovata*, l'*Ostrea vesicularis*, et c'est sur cette craie, l'analogue de celle du Nord, que repose le terrain à Nummulites, comme on le voit très bien aux environs de Dax, aux environs de Saint-Gaudens, etc. N'est-il pas évident que ce terrain, dans lequel on peut, au reste, distinguer deux ou trois étages, vient remplir cette lacune, indiquée par M. de Beaumont. — Mais on m'a dit : Qu'est-ce qui prouve que ce terrain à Nummulites qui repose sur votre craie blanche n'est pas tout simplement la partie inférieure du terrain tertiaire, puisqu'il s'y trouve des fossiles tertiaires ? Il m'est facile de répondre nettement à cette objection, car j'ai trois sortes de preuves à donner pour démontrer que le groupe nummulitique appartient au terrain crétacé et non au terrain tertiaire. D'abord, le véritable terrain nummulitique, celui qui renferme ces grandes Ammonites en couches relevées, que j'ai décrites dans le *Bulletin d'histoire naturelle de France*, sous les noms de *Nummulites millecaput*, *N. papyracea*, *N. crassa*, *N. planospira*, etc., je ne l'ai vu nulle part en couches horizontales. Or, par des considérations d'un ordre beaucoup plus général, M. Elie de Beaumont a démontré que le soulèvement des Pyrénées est postérieur à la période crayeuse et antérieur à l'époque tertiaire ; par conséquent, c'est un premier caractère géologique qui suffirait à démontrer l'âge du groupe nummulitique, et qui le déclare antérieur aux terrains tertiaires. — Secondement, le caractère minéralogique des roches qui le composent : ce sont, pour la plupart, des roches, les unes blanches et absolument de nature crayeuse ; d'autres compactes, plus ou moins cristallines, mais sans mélange de tous les éléments divers sableux et argileux, qui semblent un caractère propre au groupe des roches tertiaires, caractère qui subit quelques exceptions, je le sais, mais qui n'en est pas moins le caractère prédominant. Enfin une troisième preuve, c'est que si, dans ce groupe nummulitique proprement dit, on trouve quelques fossiles tertiaires, je puis dire qu'ils n'y prédominent pas.

Le caractère paléontologique est ici tout à fait insuffisant , puisqu'il y a mélange de fossiles , les uns tertiaires , les autres crétacés. Or, j'ai indiqué deux caractères géognostiques qui tranchent nettement la question ; par conséquent , je me crois parfaitement fondé à maintenir l'opinion que j'ai émise depuis longtemps , savoir , que ce groupe nummulitique appartient au terrain de craie ; et maintenant , éclairé par le parallélisme que M. de Beaumont vient d'établir entre les étages du Nord et ceux du Midi , et par les lacunes qu'il signale , soit dans le Nord , soit dans le Midi , j'ajouterai : Non , dans le Midi , il n'y a pas de lacunes. La craie y est complète , et , en effet ,... terrain néocomien , grès vert et craie inférieure très développés dans la chaîne même des Pyrénées ; craie tufau et craie blanche en dehors de la chaîne , surmontée par le groupe nummulitique , qui complète la série crayeuse et fait le passage immédiat au terrain tertiaire ; en sorte que dans le Midi le groupe nummulitique remplit précisément cette lacune , constatée par M. Élie de Beaumont , tout comme le calcaire pisolitique de M. Ch. d'Orbigny et la craie de Maëstricht semblent la combler dans le Nord.

Séance du 5 avril 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Hugard , vice-secrétaire , donne lecture du procès-verbal de la dernière séance , dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance , le Président proclame membres de la Société :

MM.

Le baron Léopold DE BUCH , membre de l'Académie des sciences de Berlin , à Berlin , présenté par MM. Élie de Beaumont et de Verneuil ;

FÉRY , architecte , sous-inspecteur des travaux publics , à Paris , rue du Faubourg-Saint-Martin , 71 , présenté par MM. les abbés Lévêque et Raquin ;

BENOIT (Paul) , élève de l'École des mines , à Paris , présenté par MM. Dufrénoy et de Verneuil.

M. Domnando , correspondant du Muséum d'histoire natu-

relle de Paris, résidant à Athènes (Grèce), est, sur sa demande, admis à faire de nouveau partie de la Société.

Le Président annonce ensuite deux présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. Hardouin Michelin, *Iconographie zoophytologique*; 25^e livraison.

De la part de M. Amédée Burat, 1^o *Études sur les mines. — Théorie des gîtes métallifères, appuyée sur la description des principaux types du Harz, de la Saxe, des provinces rhénanes, de la Toscane, etc.*, in-8^o, 358 p., 10 pl. Paris, 1845.

2^o *Études sur les mines (supplément). — Description de quelques gîtes métalliques de l'Algérie, de l'Andalousie, du Taurus et du Wersterwald (Prusse), et de la Toscane*; in-8^o, 163 p., 1 pl. Paris, 1846.

3^o *Études sur les gîtes calaminifères et sur l'industrie du zinc de la Belgique*; in-8^o, 47 p., 5 pl. Paris, 1846.

De la part de M. le Dr Ch. Martins, *De l'ancienne extension des glaciers de Chamonix, depuis le Mont-Blanc jusqu'au Jura* (extr. de la *Revue des deux mondes*, t. XVII, 1^{er} mars 1847); in-8^o, 25 p. Paris, 1847.

De la part de M. Ch. Lyell, *Travels in North America, etc.* (Voyages dans l'Amérique du Nord, avec observations géologiques sur les États-Unis, le Canada et la Nouvelle-Écosse); 2 vol. in-8^o, avec planches, cartes et coupes. Londres, 1845.

De la part de M. W.-C. Redfield, *Some account, etc.* (Relation de deux visites aux montagnes du comté d'Essex (New-York) dans les années 1836 et 1837) (extr. du *Journal de Silliman*, vol. XXXIII, n^o 2); in-8^o, 23 p.

De la part de M. le prince de Metternich, *Die Cephalopoden, etc.* (Les Céphalopodes du Salzkammergute (Autriche) qui se trouvent dans la collection du prince de Metternich, pour servir à la paléontologie des Alpes, par Franz Ritter de Hauer, avec 11 planches lithographiées et une introduction de W. Haidinger); in-4^o, 48 p. 11 pl. Vienne, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, t. XXIV, nos 11—13.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. VII, n^o 38.

L'Institut; 1847, nos 689—691.

Mémoires et Comptes-rendus de la Société d'émulation du Doubs; in-8^o, t. I^{er}, 3^e et 4^e livraisons, décembre 1841; t. II, 1^{re} et 2^e livraisons, juillet 1842; t. III, décembre 1842 et décembre 1843; 2^e vol., t. I et II, 1844, 1845.

The Athenæum, 1847; nos 1012—1014.

The Mining Journal, 1847; nos 604—606.

Arsberattelse, etc. (Compte-rendu annuel des progrès de la chimie et de la minéralogie au 31 mars 1846, par Jacq. Berzélius); in-8^o, 704 p. Stockholm, 1846.

Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar for ar 1844 (Mémoires de l'Académie royale des sciences de Stockholm pour l'année 1844); in-8^o, 447 p., 13 pl. Stockholm, 1846.

Oversigt, etc. (Bulletin des séances de l'Académie royale des sciences de Stockholm pour l'année 1845); in-8^o, nos 1—10.

M. de Verneuil offre de la part de M. Ch. Lyell son ouvrage intitulé : *Travels in North America, etc.* (mentionné ci-dessus).

M. d'Archiac propose, au nom de la Société d'émulation du Doubs, l'échange avec le *Bulletin*. — Renvoyé au Conseil.

M. de Roys présente, au nom du Trésorier absent, l'état de la caisse au 31 mars 1847.

État des recettes et des dépenses depuis le 1^{er} janvier jusqu'au 31 mars 1847.

Il y avait en caisse au 31 décembre 1846. . .	4,400 fr. 05 c.
La recette, depuis le 1 ^{er} janvier 1847, a été	
de	4,124 »
Total.	8,524 05
La dépense, depuis le 1 ^{er} janvier 1847, a été	
de	4,360 80
Il reste en caisse au 31 mars 1847.	4,163 25

M. Rozet fait une communication sur le terrain crétacé des environs de Dijon , sur lequel M. le Dr Jules Canat enverra une Note. Ce terrain borde toute la falaise de la Côte-d'Or.

M. Thurmann communique des observations sur les relations qui existent entre la géographie botanique et les terrains de la chaîne du Jura et celle de l'Albe wurtembergeoise des Vosges , des collines lorraines et de Kaiserstuckz. M. Thurmann cite un grand nombre d'espèces végétales qu'il a observées sur ces différents points , et qui sont en relation constante tantôt avec la nature des roches , mais plus souvent encore avec les circonstances topographiques de ces diverses stations. La conclusion générale de ses études, c'est que la composition chimique du sol est sans influence sur la végétation.

M. Boubée s'applaudit de l'application de la botanique à la géologie , à cause des déductions qu'on peut en tirer pour l'agriculture ; mais , contrairement à l'opinion de M. Thurmann , il pense qu'il y a des roches qui agissent sur les végétaux par leur constitution chimique , et il cite à l'appui plusieurs plantes qui ne se trouvent jamais que sur les mêmes roches : telles que le *Teucrium pyrenaicum* , qui apparaît , dans les Pyrénées , partout où se trouve quelque couche de calcaire , et qu'on ne rencontre jamais sur aucune autre roche ; le *Sedum sphæricum* , qui est propre aux granites de l'Ariège , et qu'on ne découvre non plus jamais sur aucune autre roche , etc., etc. N'est-il pas évident que l'élément calcaire est indispensable au *Teucrium pyrenaicum* , et que la matière alcaline du feldspath est nécessaire à la végétation du *Sedum sphæricum* ?

M. Marcou combat l'opinion de M. Rozet qui pense que le Jura est le produit du soulèvement du Mont-Rose.

M. Rozet répond que le Mont-Rose se trouvant au centre de la couche jurassique , il lui a attribué le soulèvement du Jura.

M. Constant Prévost fait remarquer que M. Rozet a émis cette idée sous l'influence de cette doctrine qui admet un soulèvement partout où il y a des couches inclinées.

M. Thurmann nie que le Grand-Vaux soit un cirque comme le soutient M. Rozet.

M. Rozet appelle cirque le résultat du croisement des dislocations.

M. Thurmman montre que la vallée de Grand-Vaux est bordée de montagnes à couches inclinées vers l'axe ; mais un cirque , dit-il , est un amphithéâtre circulaire.

M. Rozet définit une vallée une cavité où l'eau peut s'écouler et d'où elle peut sortir , tandis qu'un cirque n'offre pas une pente dans un sens ; les eaux ne s'en échappent que par des cluses ou y forment des lacs.

M. Guibal , membre de la Société , à Nancy , annonce qu'il a entrepris de décrire et de figurer tous les fossiles connus des terrains du département de la Meurthe.

Le *trias* lui a fourni 380 espèces , savoir : environ 100 pour le muschelkalk et le grès bigarré , 5 pour les marnes irisées , et 275 pour le *lias*.

Les trois étages de l'oolithe lui paraissent devoir en fournir environ 600.

Le Secrétaire lit la lettre suivante de M. de Collegno.

Florence , ce 10 mars 1847.

Monsieur le Président ,

Deux mémoires insérés dans le tome III^e du *Bulletin* de la Société contiennent sur les terrains de l'Italie des assertions qui ne s'accordent point avec ce que j'avais publié moi-même en 1844 et 1845. Qu'il me soit permis de dire quelques mots à l'appui de mes opinions. Je ne saurais assez regretter , en premier lieu , que M. Fournet n'ait pas eu plus de temps à consacrer à l'étude des terrains sédimentaires des Alpes. C'est à cette circonstance que j'aime à rapporter la différence qui existe entre nous au sujet de la classification de ces terrains , différence qui disparaîtrait , je l'espère , si , avant de publier le travail plus développé qu'il prépare , M. Fournet voulait visiter en détail les Alpes italiennes. Ainsi , dans ses *Notes sur le Tyrol méridional* (*Bulletin* , 2^e série , t. III , p. 27) , il rapporte à la formation du grès bigarré et du muschelkalk toutes les assises calcaires et autres qui se trouvent inférieurement aux calcaires rouges à cassure pierreuse et compacte , avec *Aptychies* et *Ammonites* jurassiques. Il est vrai que « l'existence des grès bigarrés et du muschelkalk primitivement admise dans le Tyrol , puis niée , se trouve maintenant fortement appuyée par les observations les plus récentes » (page 29) , et particulièrement par celles de MM. de Buch , Meneghini et Pasini.

C'est à tort que je pensais, en 1844, que le trias ne se voyait dans les Alpes italiennes que sur quelques points isolés et peu étendus que j'avais cru pouvoir négliger dans mon *Esquisse d'une carte géologique*, tandis qu'il se montre en réalité à la frontière de l'Italie, vers les sources de la Drave, du Gail, de la Piave et du Tagliamento, sur une étendue de plus de 60 myriamètres carrés, et qu'il y constitue quelques unes des hautes cimes qui déterminent la division des eaux de l'Adriatique et de la mer Noire. La limite méridionale du trias paraît suivre le cours même de la Fella et du Tagliamento, depuis Chiusa, par Resciutta, Tolmezzo, etc., suivant une direction générale sensiblement parallèle à la chaîne orientale des Alpes. Sur toute cette étendue le trias se compose principalement d'un calcaire argileux, grisâtre, qui contient les fossiles plus caractéristiques du muschelkalk (*Encrinites liliformis*, *Ammonites nodosus*, etc.), outre une quantité d'Avicules, de Térébratules, de Posidonies moins bien conservées; au-dessus de ce calcaire on voit, sur plusieurs points, des grès plus ou moins schisteux, plus ou moins micacés, dont la couleur bigarrée varie du gris verdâtre au rouge de brique. Ces grès contiennent en grande quantité l'*Avicula socialis* bien caractérisée, l'*Halobia Lomellii* et plusieurs autres fossiles décidément triasiques. C'est dans ces grès aussi que paraissent se trouver les dépôts de combustible de Raveo, sur lesquels M. Meneghini a présenté un excellent travail au congrès de Gênes. Le trias des Hautes-Alpes tyroliennes s'étend vers l'ouest jusqu'aux grandes masses porphyriques de Bolzano, et c'est à ses assises qu'appartiennent les localités de Saint-Cassian, de Wengen, etc., devenues célèbres depuis quelques années par le singulier mélange des fossiles qu'on y recueille en si grande abondance. Au midi du Tagliamento le trias s'enfonce sous le terrain jurassique, mais il reparait au fond de quelques unes des vallées du Bellunais et du Vicentin, et notamment près d'Agordo et de Recoaro. M. de Buch rapporte également au trias les marnes à *Trigonia Whatelyæ* de S. Pellegrino dans le val Brembana (*Bulletin*, 2^e série, t. II, p. 348), et je dois ajouter que plusieurs géologues italiens considèrent encore comme triasique le grès rouge si bien développé sur les bords du lac de Como et dans le Val Sasina. Ce grès passe souvent au « conglomérat rouge avec cailloux de porphyre quartzifère et d'autres roches cristallines plus anciennes, » qui est le onzième et le plus inférieur des groupes indiqués par M. Fournet. J'ai cru, de mon côté, pouvoir rapporter ces grès à la formation jurassique (*Bulletin*, 2^e série, t. 1^{er}, p. 181); mais, lors même

qu'il viendrait à être démontré qu'ils sont réellement triasiques, il ne pourrait en être de même des assises calcaires et marneuses qui constituent les groupes nos 9 et 10 de M. Fournet. Ces assises présentent une épaisseur totale de 6 à 7 mètres, et leurs fossiles, très abondants et fort bien connus aujourd'hui, appartiennent à la formation jurassique (depuis le lias inclusivement jusqu'aux assises les plus élevées du calcaire de Portland). Je regrette fort, je le répète, que M. Fournet n'ait étudié ces assises que dans la partie du Tyrol où elles ont été le plus disloquées, et qu'il ait cru ensuite pouvoir généraliser ses observations et considérer comme caractère normal de ces calcaires leur état fendillé, souvent dolomitique, qui n'est réellement qu'un état partiel, postérieur au dépôt du terrain. S'il avait pu prolonger son séjour dans les Alpes italiennes, il aurait trouvé assez d'exemples de *passages latéraux* depuis le calcaire compacte non magnésien à la dolomie la mieux caractérisée. Dans la haute vallée du Tessin surtout il eût pu voir au pied des escarpements dolomitiques des blocs dont une des faces est à l'état de dolomie grenue, tandis que la face opposée présente encore la schistosité habituelle des roches calcaires de la contrée, qui ont conservé d'ailleurs leur composition primitive et tous leurs caractères sédimentaires à quelques mètres de la surface des escarpements (*Bulletin*, 1^{re} série, t. VI, p. 106). M. Fournet eût pu d'ailleurs recueillir dans les dolomies du val Lumezzane, dans celles de Bellagio, de Grianza, des fossiles dont le test est lui-même devenu magnésien, et peut-être eût-il été amené à croire que ce n'est pas à tort que « cette série de couches a été le plus souvent citée » à l'appui de la théorie du métamorphisme. » Mais ces remarques s'appliquent plus particulièrement encore au groupe n° 7 de M. Fournet. « Les dolomies blanches, cristallines, en belles » assises régulières, passant vers le haut à des calcaires blancs, » compactes, veinés de dolomie sub-cristalline, » qu'il a vues à Santa-Agata, sont dues à un phénomène purement local. Les calcaires rouges et blancs, qui constituent, en Italie, la partie la plus élevée de la formation jurassique, sont parfaitement connus aujourd'hui dans toute la Péninsule. Outre les localités indiquées par M. de Buch (*Bulletin*, 2^e série, t. II, p. 359), on les a suivies dans les Apennins des États Romains et des Abruzzes, dans les Monti Pisani, dans les environs du Monte Amiata, etc. Nulle part on n'a vu entre le calcaire blanc et le calcaire rouge des assises régulières de dolomie; seulement, dans certaines localités, à la Madonna del Monte de Varese, par exemple, le calcaire blanc est remplacé par une dolomie identique avec celle de Santa-Agata. Mais, de même

qu'à Santa-Agata, on voit près de la dolomie de Varese les masses ignées du Val Gana, que M. de Buch a appelées des porphyres pyroxéniques et que tous les géologues ont retenues pour telles jusqu'en 1845... Mais je ne veux point entrer ici dans des discussions théoriques sur les causes de la dolomisation; je cite simplement des faits qui sont connus de tous les géologues qui ont visité les Alpes italiennes, et j'en appelle en particulier aux membres de la Société qui ont assisté, en 1844, au congrès de Milan, et qui ont pu voir à Gavirate le calcaire blanc reposer immédiatement sur le calcaire rouge à Ammonites, sans aucun indice des assises de dolomie. Rien ne me paraît donc mieux prouvé dans les Alpes italiennes que « l'interposition normale des dolomies parmi d'autres roches douées de tous les caractères d'une origine purement aqueuse. » — La *formation nummulitique* n'étant citée que pour mémoire dans les notes de M. Fournet, je me bornerai à faire observer que des « calcaires grisâtres ou blanc sale, plus ou moins schistoïdes, oolitiques ou compactes, » se trouvent en effet sur plusieurs points des Alpes, mais le plus souvent *inférieurement* au calcaire rouge avec *Aptychies* et *Ammonites*, et qu'ainsi ces calcaires du groupe n° 5 doivent bien être rapportés à l'étage jurassique.

Je passe maintenant au *Mémoire sur le gypse du Monte-Argentario* de M. Coquand (2^e série, tome III, p. 302). Je disais, en 1844, dans mon premier *Mémoire sur les terrains sédimentaires des Alpes* (tome I^{er}, p. 179), que les fossiles du calcaire rouge paraissent devoir faire considérer ce calcaire comme l'équivalent de l'étage oolitique inférieur, peut-être même de la partie supérieure du lias; mais je disais aussi que le calcaire rouge et le calcaire blanc, qui lui est immédiatement superposé, constituent en Italie la partie la plus élevée de la formation jurassique. Si, en fait, la plupart des Ammonites du calcaire rouge se retrouvent dans le lias du nord de l'Europe, ces mêmes Ammonites ne s'en trouvent pas moins dans les Alpes italiennes au-dessus de 6 à 700 mètres de calcaires plus ou moins argileux, plus ou moins siliceux, mais contenant exclusivement, je le répète, des fossiles jurassiques. Je n'ai jamais pensé et je ne pense pas encore qu'on puisse établir, en Italie, des divisions et des subdivisions qui correspondraient par leurs fossiles aux divers groupes de la série jurassique du nord de l'Europe. Voici, au contraire, comment je crois pouvoir me rendre compte des caractères paléontologiques des terrains jurassiques des Alpes et de toute l'Italie. Qu'on se rappelle la disposition des mers jurassiques, telle qu'elle est indiquée dans l'explication de la carte géologique de la France, et

l'on comprendra que les dépôts des mers qui recouvraient le midi de l'Europe actuelle devaient se former dans des circonstances bien différentes de celles qui influaient sur la nature des dépôts contemporains du nord. Dès lors, on ne saurait retrouver en Italie tous les caractères paléontologiques du lias de Lyme-Regis et ceux des divers groupes jurassiques du comté d'Oxford; autant vaudrait supposer que les dépôts actuels de la mer Rouge, par exemple, enseveliront toutes les mêmes espèces de mollusques que les dépôts qui se forment à l'embouchure du Nil, du Rhône, ou même à celle de la Seine et de la Tamise. Le lias de Lyme-Regis n'a guère que 30 à 40 mètres de hauteur, tandis que l'ensemble des terrains jurassiques de l'Italie a une puissance de 1,000 mètres environ. Quelles que soient les circonstances qui accompagnent la formation de deux dépôts contemporains, il me paraît bien difficile qu'il en puisse résulter une différence aussi prodigieuse dans l'épaisseur des sédiments déposés. Si, au contraire, on admet que le terrain jurassique de l'Italie représente l'ensemble de la formation de même nom dans le bassin septentrional de l'Europe, la puissance totale de chacun des deux dépôts sera sensiblement égale. On peut d'ailleurs admettre, sans trop s'écarter des possibilités géologiques, que les événements qui ont modifié la faune des mers jurassiques septentrionales n'ont pas exercé une grande influence au-delà des détroits qui communiquaient avec les mers de l'Europe méridionale, et l'on expliquerait ainsi la permanence des espèces liasiques en Italie, pendant que les mers de France et d'Angleterre étaient habitées par les animaux dont les restes caractérisent aujourd'hui les groupes jurassiques supérieurs. Cet état de choses aurait duré jusqu'au moment où, une révolution générale du globe suspendant la formation régulière des dépôts jurassiques, toutes (ou presque toutes) les espèces de cette période disparurent pour faire place à la nouvelle faune des couches néocomiennes actuelles.

De quelques particularités relatives à la forme extérieure des anciennes moraines des Vosges, par M. Ed. Collomb.

Si l'on examine avec attention la section transversale de la plupart des anciennes moraines des Vosges, on remarque que la pente du talus en aval est constamment inclinée sous un angle très fort, angle qui va souvent jusqu'à 35°, surtout lorsque ces amas sont couverts d'un revêtement en gazon qui les préserve de l'action destructive des agents extérieurs, tandis que sur le revers opposé

du rempart, c'est-à-dire en amont, la pente se perd graduellement et finit par se confondre avec le niveau du sol.

Lorsque le gazon manque et que la surface de la moraine n'est formée que de pierres et de sable, comme c'est souvent le cas dans certaines localités, le relief extérieur est modifié par cette circonstance ; les talus de part et d'autre sont alors moins escarpés, et la différence relative de leurs pentes devient moins sensible à l'observation, parce que les agents atmosphériques tendent constamment par leur action lente et continue à dégrader, à niveler des matériaux minéralogiques qui sont simplement posés les uns sur les autres sans être retenus par aucun ciment agglutinatif.

Relativement à cette question des talus, nous prendrons pour type, comme exemple d'ancienne moraine frontale des Vosges, celle qui barre la vallée de Mollau et qui se trouve au milieu du village de Hüsseren, près de Wesserling ; elle est dans un état de conservation parfait ; le sol n'en a jamais été livré à la culture, sauf quelques champs labourés en amont, où l'on peut recueillir des galets striés. Elle est couverte d'un manteau de gazon fort épais qui laisse percer de loin en loin quelques blocs erratiques de granite. Son arête culminante est ombragée de chênes séculaires. Elle a 15 à 18 mètres de hauteur verticale ; sa projection horizontale ne décrit pas de courbe bien prononcée ; elle suit une ligne droite qui court d'un bord à l'autre de la vallée dans une direction perpendiculaire à son axe. Elle a tout l'aspect d'un énorme rempart qui aurait été élevé sur ce point pour la défense de la vallée. La pente du talus en aval s'éloigne peu de 35° , tandis qu'en amont la pente s'adoucit graduellement et forme plusieurs étages, plusieurs grandes marches d'escalier qui finissent par se confondre avec le niveau du sol.

Toutes les autres moraines frontales des vallées des Vosges présentent la même disposition relativement à l'inclinaison de leurs talus ; en amont la pente est faible, en aval elle est forte. Cette règle est générale et ne présente d'exceptions que dans les localités où la configuration du sol a permis aux courants d'eau, aux torrents, d'exercer des ravages, qui, avec le temps, ont défiguré l'œuvre des temps passés, surtout si, comme nous l'avons fait remarquer tout à l'heure, le revêtement en gazon vient à manquer.

Pourquoi cette différence dans l'inclinaison des pentes ? Je n'ai pu me rendre un compte exact du phénomène que lorsque je me suis trouvé en présence d'une moraine en voie de formation dans les hautes régions de la Suisse, par la comparaison du fait qui se

passait sous mes yeux avec celui qui avait eu lieu dans les anciens temps et dans d'autres contrées.

Ainsi, lorsqu'une moraine est en voie de formation, le glacier apporte tous les jours ses débris au pied de son talus terminal ; la moraine s'appuie contre le glacier, les pierres touchent la glace, sauf quand l'inclinaison du sol est très rapide, mais nous supposons pour plus de clarté que le glacier se meut sur un plan presque horizontal. En tombant, les pierres roulent les unes sur les autres ; souvent elles se brisent quand la nature de la roche le permet, parfois les plus gros blocs sont lancés au loin en rebondissant, et les menus débris, les sables s'arrêtent immédiatement à son pied.

Aussi longtemps que la partie frontale du glacier est en voie de progression, les choses se passent de même ; mais aussitôt qu'elle recule, c'est-à-dire qu'elle fond dans une proportion plus forte qu'elle ne progresse, il s'opère un changement dans la forme extérieure de la moraine. Les matériaux qui tout à l'heure s'appuyaient contre le glacier en sont maintenant à une certaine distance ; entre la moraine et le glacier il y a un petit vallon, un fossé, dont la largeur est égale à la quantité dont le glacier a fondu. Mais, tout en procédant à son mouvement de retraite, tout en fondant, le glacier n'interrompt pas le transport des débris ; ceux dont sa surface est chargée et qui sont destinés, par son mouvement continu de progression, à alimenter sa moraine, continuent à tomber ; ils jonchent le fossé et contribuent à élever son niveau relatif au-dessus du sol. La pente du talus tourné du côté du glacier sera par conséquent beaucoup moins rapide que celle du côté opposé. Plus la retraite du glacier aura été lente, plus le nombre des débris déposés en amont sera considérable ; il arrivera même quelquefois que le fossé sera complètement comblé ; la section transversale de la moraine, au lieu de présenter une surface conique, prendra la forme d'une terrasse, comme on peut le remarquer dans quelques anciennes moraines des Vosges.

C'est dans l'été de 1846 que j'ai pu assister à la retraite de quelques uns des principaux glaciers de la Suisse, surtout ceux de l'Oberland bernois. Si la saison eût été froide et humide, les glaciers, au lieu de reculer, se seraient portés en avant, et ce mouvement aurait eu une influence directe sur la forme extérieure des moraines.

Si nous attachons de l'importance à la question des talus morainiques, c'est pour constater la différence qui existe avec ceux qu'on

remarque dans les amas de matériaux de transport résultant du mouvement des eaux. Ensuite elle peut donner quelques indications sur la manière lente ou rapide dont les anciennes glaces ont disparu de la surface du sol. Si les talus ont une inclinaison égale en amont et en aval, le glacier aura opéré sa retraite par un procédé très rapide; mais si le talus présente une inclinaison très faible en amont, on peut en augurer que le glacier n'a disparu que par une fusion lente.

De toutes les révolutions géologiques qui ont exercé leur action sur la surface de la terre, le phénomène des anciens glaciers prendra son rang parmi les plus considérables et certes des plus difficiles à expliquer, et cependant les traces qu'il a laissées de son passage présentent cela de particulier, qu'elles sont peu considérables sur la croûte terrestre et qu'elles n'affectent pour ainsi dire que sa pellicule la plus superficielle. A en juger par les faits qui sont aujourd'hui connus, le phénomène a dû avoir une grande portée climatologique, non seulement dans les pays de montagnes, mais probablement sur un hémisphère, si ce n'est sur le globe tout entier, et toutefois les restes matériels, les ruines de cette époque, si l'on peut s'exprimer ainsi, sont reléguées dans un petit nombre de localités; elles sont si faiblement accusées que les géologues ne seront pas surpris, si, dans les recherches qui s'y rapportent, on est obligé d'apporter un esprit minutieux et de tenir compte des plus légers accidents de la surface du sol.

M. de Wegmann lit l'extrait suivant d'une lettre de M. Boué à lui adressée.

« M. François de Hauer vient de décrire une *Caprina Partschii* voisine de la *C. Anguilloni* d'Orb. Elle se trouve dans le terrain de Sosau avec des Hippurites (*H. costulatus* Goldf., etc.), soit à Sosau même, soit au sud de Vienne, près de Grunbach, au pied d'un haut escarpement de calcaire secondaire. Comme M. de Hauer a eu la satisfaction de pouvoir en faire dessiner des exemplaires parfaits, soit extérieurement, soit intérieurement, cette Caprine paraît fort curieuse par ses dents, dont l'une est fort grosse, et par la structure de son test qui offre un épiderme qui se délite et une partie interne particulière. Cette description se trouve dans les *Naturwissenschaftliche Abhandlungen de la Société des amis de l'histoire naturelle de Vienne*, vol. I, p. 109-117, avec une planche lithographiée, 1847. Quelquefois plusieurs individus adhèrent ensemble, comme le font les huîtres.

« M. Morlot publie une *Notice sur les Alpes allemandes*, avec une petite carte géologique et une coupe. Ce ne sera qu'une brochure de 2 à 300 pages. M. de Pizek publie, de son côté, une *Carte géologique des environs immédiats de Vienne*, avec plusieurs coupes. M. de Hauer donne des leçons de paléontologie au Musée des mines. M. Partsch se dispose à descendre le Danube jusqu'à son embouchure pour faire la géologie de ses bords en Turquie. »

Note critique sur le genre Paleotherium, par M. A. Pomel.

Le genre des *Paleotherium* est certainement un des plus intéressants, en ce que c'est par la restitution de ses caractères ostéographiques que Cuvier a commencé cette série de travaux remarquables, qui nous ont fait connaître des formes animales nombreuses, aujourd'hui éteintes à la surface du globe. Aussi, la partie de ses recherches consacrée à la description de ses formes se fait-elle remarquer par l'exposition des principes qui ont guidé leur auteur dans la route nouvelle qu'il se frayait. Sous ce rapport, nous ne pouvons approuver la critique qu'on en a faite récemment, et bien loin de ne trouver dans ce travail aucun ordre et aucune méthode, nous pensons qu'il était bien plus juste et surtout plus convenable d'y puiser des leçons pratiques de déterminations ostéologiques.

Les *Paleotherium* sont des pachydermes ordinaires, c'est-à-dire à système digital impair, qui participent à la fois des formes des Rhinocéros, Darvares, Tapirs et Chevaux, comme s'ils avaient été le type primitif de ces différents genres de la même famille dont l'apparition est postérieure à la leur. Mais dans ce mélange de caractères propres aujourd'hui à des types génériques bien tranchés, on reconnaît toujours une prédominance marquée des formes tapiroïdes. Il serait inutile d'entrer ici dans de plus grands détails sur l'organisation de ces animaux; nous y reviendrons dans un travail général que nous préparons sur la faune du bassin parisien.

M. de Blainville est le premier naturaliste qui ait songé à donner au genre *Paleotherium* d'autres limites que celles établies par G. Cuvier, en y rapportant les Lophiodons, et même, mais avec réserve, les *Anthracotherium* et les *Cheropotamus*. Or, la plus grande ressemblance des Lophiodons avec les Tapirs est aussi évidente que la différence entre les *Paleotherium* et les Rhinocéros, que personne ne révoque en doute, quoique le même auteur ait supposé que ceux-là n'étaient que des Rhinocéros sans corne. Il suffit de rapprocher des dents de *Paleotherium*, de Lophiodon et

de Tapir pour se convaincre sans difficulté que s'il y avait un rapprochement à faire entre deux de ces genres ce serait certainement entre les deux derniers, à tel point qu'il est souvent difficile de distinguer une arrière-molaire supérieure de *Lophiodon* des analogues du Tapir. Quant aux *Anthracotherium* et aux *Cheropotamus*, il est si évident que tous leurs rapports généraux sont avec les pachydermes paridigités, que leur rapprochement avec les *Paleotherium* ne peut être expliqué que par le but d'établir une liaison entre les deux familles pour compléter la série linéaire en ce point. Nous ne trouvons en effet d'autre motif exprimé par l'auteur, que l'existence d'un troisième trochanter dans un fragment de fémur rapporté à tort aux *Anthracotherium*, et ayant certainement appartenu à un Rhinocéros dont on a trouvé d'autres débris incontestables dans le même gîte. En outre, il y a autant de motifs de réunir les *Cheropotamus* aux *Anthracotherium* qu'il y en aurait pour associer ceux-ci aux *Anoplotherium*, et s'il fallait chercher parmi les ossements des plâtrières décrits par Cuvier ceux des *Cheropotamus*, il n'y a pas de doute que ce ne soit plutôt parmi ceux attribués à l'*Anoplotherium secundarium*, notamment les phalanges, que parmi ceux des divers *Paleotherium*. Nous discuterons plus tard ces questions importantes; il nous suffit aujourd'hui de fixer sur ce point l'attention des naturalistes, afin qu'ils n'adoptent pas sans contrôle les opinions de M. de Blainville dans ce qu'elles ont de contradictoire avec celles de Cuvier.

Il en sera de même pour la question des espèces qui se trouve traitée dans l'ouvrage de M. de Blainville avec des idées nouvelles, mais en opposition trop marquée avec les faits les plus évidents et les mieux établis pour qu'on puisse les adopter. Pour les réfuter il nous suffira de dire que tous les *Paleotherium* distingués par Cuvier, de même que les *Lophiodons* et les *Anthracotherium* diffèrent entre eux par des caractères aussi tranchés, pour ne pas dire plus, que ceux reconnus entre les espèces vivantes dont la distinction ne peut être révoquée en doute. Mais M. de Blainville, considérant sa théorie de la série linéaire comme un principe d'une rigoureuse exactitude, établit en fait que les espèces doivent être seulement caractérisées par les différences dans ce qu'il considère comme la raison de la série; ou, pour parler un autre langage, que les *Paleotherium*, par exemple, ne pourront être considérés comme d'espèces différentes que lorsqu'ils auront des particularités différentes dans leurs dernières molaires supérieures, quand même ils se caractériseraient par tout le reste de leur organisation. Or,

l'observation des faits démontre que nous ne pouvons jamais à l'avance établir dans une série d'espèces quel sera le point unique par où elles différeront toutes entre elles, mais qu'au contraire les différences portent sur tous les points ou sur quelques uns indistinctement. Partant ensuite de ce fait, M. de Blainville va jusqu'à dire que les espèces vraies seront seulement celles qui viendront combler une lacune dans sa série telle qu'il l'aura établie; en sorte que tout devra être subordonné à la théorie, et que les faits contraires à cette théorie seront considérés comme des accidents dont il ne sera tenu aucun compte. Il nous suffit d'ajouter que toute théorie étant une simple conception de l'esprit humain pour faire rentrer dans un cadre simple les connaissances sur les phénomènes de la nature, il n'est pas rationnel d'interpréter les faits dans le but de ces théories, mais plutôt de collationner les théories par l'observation libre et consciencieuse des faits.

Nous pourrions relever ici des erreurs capitales, telles que l'incertitude de la position du *Lophiodon anthracœide*, le rapprochement du petit *Lophiodon* de Passy avec les Cochons, la mâchoire jeune âge d'un ruminant prise en la renversant pour celle d'une espèce nouvelle d'*Anthracotherium*, etc.; mais la discussion de ces faits nous ferait sortir de notre cadre.

Plus récemment M. de Christol a communiqué à l'Institut une note sur une section d'espèces qui a pour type le *Paleotherium aurelianense*, et dont le caractère essentiel consiste dans la modification du type paléothérien pour passer à celui des solipèdes. M. de Christol, attachant plus d'importance à ces modifications qu'à la forme des dents, a cru pouvoir rapprocher ce *Paleotherium* des Chevaux sous le nom d'*Hipporitherium*, oubliant sans doute qu'il avait déjà reçu celui d'*Anchiterium* (H. Meyer). Mais une observation attentive des formes de cet animal nous a démontré qu'il différait autant des Hipparions que des *Paleotherium*, et que le type de sa dentition devait, dans ce cas, entraîner sa position dans la méthode. Il est, du reste, extrêmement curieux de voir une autre espèce, *P. minus*, se modifier aussi dans la même direction, avec cette particularité, que dans le premier ce sont surtout les membres, et dans le second surtout la dentition qui se rapprochent du type chevalin.

Il résulte seulement de ce fait que le genre *Paleotherium* se laisse diviser en trois sous-genres dans le sens que Cuvier donnait à cette dernière signification. Le premier comprendra les *Paleotherium* vrais, le second le *P. minus*, s.-g. *Plagiolophus*, le troisième le

P. equinum, s.-g. *Anchitherium*. Il est impossible de ranger les Lophiodons dans le même genre, et à plus forte raison les *Anthrocotherium* et les *Cheropotamus*.

M. Constant Prévost présente des fossiles provenant de Biarritz.

MM. Delbos, Deshayes, Boubée et Rozet présentent des observations sur ces terrains et les fossiles qu'ils contiennent.

AVIS.

La Société recevra avec plaisir, pour être insérées dans le *Bulletin*, les analyses en français d'ouvrages géologiques publiés en langues étrangères. Ces analyses devront, conformément au Règlement, être soumises à la Commission du *Bulletin*.

Séance du 19 avril 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Ch. Martins, secrétaire pour l'Étranger, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société,

MM.

Francis MARIN, docteur en médecine, à Genève, présenté par MM. le vicomte d'Archiac et de Wegmann;

Émile CORNALIA, minéralogiste, à Milan, présenté par MM. de Filippi et Damour.

Le Président annonce ensuite deux présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le ministre de la Justice, *Journal des Savants*, mars 1847.

De la part de M. Amédée Burat, *Géologie appliquée, ou Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*; in-8°, 628 p., avec planches. Paris, 1846.

De la part de sir Rod. I. Murchison, *On the silurian rocks*, etc. (Sur les roches siluriennes de diverses parties de la Suède); in-8°, 50 p., 1 pl. Londres, 1847.

De la part du prof. J. Jos. Bianconi, *1° Intorno alla modernità*, etc. (Sur l'existence récente du delta d'Égypte), (extrait des *Nouv. ann. des sc. natur. de Bologne*, fascicule d'octobre 1846); in-8°, 6 p. Bologne, 1846.

2° *De mare*, etc. (Première dissertation sur la mer qui occupait autrefois les plaines et les collines de l'Italie, de la Grèce, de l'Asie-Mineure, etc., et de l'âge du terrain que les géologues appellent marnes bleues); in-4°, 24 p. Bologne, 1846.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, nos 14—15.

L'Institut; 1847, nos 692—693.

The Athenæum; 1847, nos 1015—1016.

The Mining journal; 1847, nos 607—608.

Proceedings of the royal Society of London, nos 62—66.

Philosophical Transactions of the royal Society of London for 1846; part. 1—4.

Address, etc. (Discours prononcé par le M^{re} de Northampton, président, à la séance annuelle de la Société royale de Londres, le lundi 30 novembre 1846); in-8°, 26 p. Londres, 1847.

The royal Society (Liste des membres de la Société royale de Londres au 30 novembre 1846).

Proceedings of the royal Society of Edinburgh; nos 27—28.

Transactions of the royal Society of Edinburgh; vol. XVI, par. 11.

Neues Jahrbuch de Leonhard et Bronn; année 1847, 2^e cahier.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. de Verneuil communique l'extrait suivant d'une lettre

qui lui a été adressée de Saint-Petersbourg , le 15 mars 1847, par M. le comte de Keyserling.

M. Pander prépare un grand ouvrage sur la Livonie et une dizaine de planches sont déjà tirées. Vingt planches seront consacrées aux poissons du système dévonien. Il a pu souvent figurer de grandes parties du même animal composées de plusieurs pièces considérées jusqu'ici comme appartenant à plusieurs genres. Son travail ne peut manquer d'avancer beaucoup cette partie de la science. M. Hoffmann va enfin publier le récit de son voyage en Sibérie, où se trouveront décrits ces fossiles de l'Inja , cités dans notre ouvrage. M. Volborth étudie maintenant les Trilobites , et a fait la découverte intéressante que les espèces à yeux lisses , très légèrement traitées avec de l'acide , font voir des facettes distinctes à la loupe. Ceci vient confirmer ce qui avait été déjà soupçonné par M. Burmeister. Vous trouverez dans les Mémoires de la Société minéralogique de Saint-Petersbourg un intéressant travail de M. Kutorga sur les Lingules de notre terrain silurien. M. Jasikof de Simbirsk a trouvé dans les grès tertiaires du Volga une quantité considérable de fossiles de l'argile de Londres. Cet infatigable géologue a un grand nombre de nouveaux fossiles , une petite tête de Saurien et une vingtaine de nouvelles espèces Permienne. M. Ozersky traduit notre ouvrage en Russe. M. Eichwald vient aussi de publier un intéressant ouvrage sur la géologie de la Russie. A Moscou M. Rouiller a publié récemment un mémoire sur les fossiles, dont les planches sont très bien exécutées. M. Nordmann, à Odessa , a trouvé de grands dépôts d'ossements fossiles. Enfin , M. Orladnikof m'a rapporté des coquilles fossiles appartenant à des espèces actuelles , telles que *Modiola barbata* , *Mya truncata* , *Buccinum undatum* , *Natica cornea* , *Multipora polymorpha* , trouvées dans l'île de Wardhouse , sur les côtes de Laponie et dans plusieurs îles voisines. Ces coquilles s'y trouvent à 70 pieds au-dessus de la mer et méritent d'être signalées aux voyageurs.

M. Fayre fait une communication.

M. d'Omalius d'Halloy communique à la Société le Mémoire suivant de M. Dumont :

Sur la valeur du caractère paléontologique en géologie, par
André Dumont, professeur à l'Université de Liège.

De même que le caractère minéralogique des roches dérive de la connaissance des espèces minérales qui les composent, le caractère paléontologique est tiré de la détermination des espèces fossiles qu'elles renferment ; mais cette dernière détermination présente des difficultés bien plus grandes et ne peut jamais être aussi certaine que celle des minéraux.

« Il n'est pas un zoologiste au courant de la science, dit M. Agassiz, qui ignore combien il est difficile d'arriver à une détermination rigoureuse des animaux vivants, et qui ne connaisse les nombreuses incertitudes qui planent sur la distinction des espèces de différentes familles, alors même qu'on en possède des exemplaires très bien conservés.

» Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est personne, je crois, qui voulût prendre sur lui de distinguer toutes les espèces de chauve-souris, de rongeurs, de passereaux, de lézards, de serpents, de grenouilles, de perches, de spares, de scombres, etc., d'après la seule inspection de leur squelette, et cependant, c'est uniquement sur l'étude de ces parties solides que reposent les déterminations des paléontologistes.

» Il est un autre genre de difficultés que je ne dois pas passer sous silence, c'est la variété des formes qu'affectent certaines espèces, et qui est telle par exemple chez certains crustacés, que les jeunes et les adultes, les mâles et les femelles, ont été successivement décrits comme des espèces distinctes, et même comme des types de genres différents.

» Enfin, et c'est surtout le cas de plusieurs familles d'insectes, de mollusques et de polypiers, il y a des types dont les espèces sont tellement semblables, que l'observation la plus minutieuse peut seule conduire à des déterminations rigoureuses, et je doute fort qu'il y ait un entomologiste qui pût reconnaître certain Diptère qui aurait été simplement comprimé, ou certains Lépidoptères dont les ailes seraient privées des petites écailles qui les recouvrent, ou tel Coléoptère auquel on aurait enlevé les élytres.

» Il en serait de même pour un conchyliologiste auquel on soumettrait une collection d'Hélices et de Mulettes (*unio*) privées de leur épiderme. »

Or, si dans la nature actuelle on est quelquefois dans le cas de

confondre des espèces différentes et de décrire comme espèces distinctes et quelquefois comme genres différents divers états de la même espèce, on conçoit aisément qu'une semblable confusion doit avoir lieu très fréquemment dans des déterminations qui ne peuvent être faites que sur des parties d'animaux ou de végétaux souvent mal conservées, déprimées, etc. Mais supposons que cet inconvénient n'ait pas lieu, et voyons quels secours la géologie peut tirer de l'étude des êtres organisés fossiles, 1° pour connaître l'âge relatif des couches superposées dans la même contrée; 2° pour comparer les époques de formation des terrains situés sur des points éloignés du globe; 3° pour fixer les limites des diverses formations.

I.

Lorsque l'on compare les formes organiques qui se trouvent dans une série de couches superposées, on remarque que ces formes diffèrent d'autant plus de celles des êtres vivant dans la localité que les couches dont elles proviennent sont plus anciennes; que ces formes nouvelles se rapprochent d'abord de plus en plus de celles des êtres vivant dans les pays situés entre les tropiques, et finissent même par annoncer une température supérieure à celle de l'équateur.

Ces faits, aujourd'hui admis par la plupart des paléontologistes, ont été fortement soutenus par M. Deshayes dans sa *Description des coquilles fossiles des environs de Paris*, t. II, p. 776.

Suivant cet auteur, « les derniers terrains tertiaires, les plus superficiels, ont été déposés lorsque la température de l'Europe était, à peu de chose près, semblable à celle que nous éprouvons.... » Les terrains tertiaires de cet âge, de la Norvège, de la Suède, du Danemark, de Saint-Hospice près de Nice, d'une partie de la Sicile, contiennent à l'état fossile toutes les espèces identiques des mers correspondantes, et entre autres celles qui, plus localisées, représentent bien mieux pour nous les températures. Ces fossiles offrent les mêmes séries de variétés que les espèces vivantes, ce qui annonce bien positivement que les terrains mentionnés se sont déposés dans des circonstances semblables à celles dans lesquelles elles vivent encore maintenant. Ces mêmes terrains du midi de la France, du versant méditerranéen de l'Espagne, de l'Italie, de la Sicile, de la Morée, de la Barbarie (Alger), recèlent une grande partie des espèces qui vivent dans la Méditerranée, mais en contiennent aussi dont les analogues

» ne subsistent plus ou sont distribuées en petit nombre dans
» les régions chaudes de l'océan Atlantique et dans les mers de
» l'Inde.

» La seconde période tertiaire se compose d'un grand nombre
» de petits bassins, la Superga près de Turin, le bassin de la Gi-
» ronde, les faluns de la Touraine, le petit bassin d'Angers, le
» bassin de Vienne en Autriche, la Podolie, la Volhynie et
» quelques autres lambeaux sur la frontière méridionale de la
» Russie d'Europe, lambeaux dont quelques parcelles se montrent
» non loin de Moscou. Les terrains lacustres de Mayence et des
» bords du Rhin appartiennent probablement aussi à cette pé-
» riode.

» Pendant cette période la température a été bien différente de
» ce que nous la voyons actuellement; en effet, les espèces pro-
» pres au Sénégal, à la mer de Guinée, celles qui représentent le
» mieux la température de cette partie de la zone équatoriale, se
» retrouvent à l'état fossile dans les divers lieux que nous venons
» de mentionner.

» Pour déterminer la température équatoriale de notre seconde
» période tertiaire, dit plus loin M. Deshayes, nous avons constaté
» l'analogie de près de deux cents espèces de la zone intertropicale
» avec les espèces fossiles répandues surtout à Bordeaux et à
» Dax, et dans les autres bassins appartenant à cette seconde pé-
» riode. »

Sur environ 1400 espèces trouvées dans la première période tertiaire, 38 seulement ont leurs analogues vivants, la plupart sous la zone équatoriale; mais de ce que, à l'époque actuelle, le nombre d'espèces s'accroît avec la température; de ce que le bassin de Paris renferme, sur une étendue de 40 lieues de diamètre dans un sens et de 55 dans l'autre, 1200 espèces, c'est-à-dire un plus grand nombre qu'aucune de nos mers n'en rassemble dans un espace aussi restreint, et de ce que ces espèces sont particulièrement grandes et nombreuses dans des genres et des familles dont les espèces se multiplient dans les régions les plus chaudes de la terre, de l'absence dans ce bassin des formes propres aux mers septentrionales, M. Deshayes conclut que les terrains tertiaires inférieurs du bassin de Paris se sont déposés sous une température équatoriale probablement plus élevée que celle de l'équateur actuel.

On a remarqué ensuite que les divers embranchements des animaux invertébrés, et même les diverses classes de ces animaux, avaient été représentés aux diverses époques géologiques par des

espèces de formes particulières, qui se sont successivement éteintes ou modifiées suivant les changements survenus dans les conditions de l'existence, et l'on a cru pouvoir admettre diverses grandes créations successives correspondant à autant de divisions géologiques des terrains neptuniens. On a enfin reconnu que les animaux vertébrés se sont succédé dans l'ordre de leur développement organique, de manière que les poissons, les reptiles, les mammifères et l'homme ont successivement apparu ou au moins prédominé dans les terrains primaires, secondaires, tertiaires et modernes.

Il résulte de ces considérations que les fossiles peuvent aisément faire reconnaître dans une contrée l'âge relatif des terrains qui ont été formés à des époques éloignées ; mais, à mesure qu'il s'agira de déterminer l'âge relatif de couches appartenant à des époques plus rapprochées, elle offrira moins de valeur, et je doute fort qu'un paléontologiste, auquel on montrerait des fossiles nouveaux de deux couches voisines, pût dire laquelle des deux est la plus ancienne.

II.

Les animaux et les végétaux ont nécessairement une organisation en rapport avec les conditions d'existence que présente le milieu dans lequel ils se trouvent placés naturellement. On sait, en effet, que, toutes choses égales d'ailleurs, les êtres terrestres ou qui respirent l'air en nature diffèrent essentiellement des êtres aquatiques, et que, parmi ceux-ci, ceux qui vivent dans l'eau douce diffèrent de ceux qui vivent dans la mer. On sait aussi que ceux qui habitent les régions polaires, tempérées et équatoriales, sont d'espèces différentes, et que si certaines espèces existent dans ces diverses régions, ce qui est rare, elles y présentent des modifications particulières. « Le *Buccinum undatum*, dit M. Deshayes » (*Description des coquilles fossiles des environs de Paris*, t. II, » p. 774), se trouve depuis le cap Nord jusqu'au Sénégal, allant » en se modifiant avec la température : aussi est-il assez facile de » distinguer les trois ou quatre termes principaux de tempé- » rature. » On sait enfin que les animaux qui n'ont pas la faculté de se déplacer avec facilité, et qui habitent les profondeurs de l'Océan, diffèrent complètement de ceux qui vivent à sa surface.

Or, on doit le reconnaître, ces trois circonstances, la nature du milieu, la température et la pression, varient d'un point du globe

à l'autre , et l'observation démontre que les êtres varient avec ces circonstances. Au surplus, on ne trouve guère , sous la même latitude, sous le même climat, sous les mêmes pressions d'atmosphère ou d'eau , dans des circonstances qui nous paraissent semblables enfin , d'êtres organisés de même espèce dans des localités fort éloignées les unes des autres , telles que les côtes européennes et les côtes asiatiques par exemple.

On ne saurait donc , de la comparaison des corps organisés que renferment les dépôts qui se forment actuellement dans l'ancien et dans le nouveau monde , conclure qu'ils appartiennent à la même époque.

Ce qui se passe aujourd'hui a dû avoir lieu dans les temps anciens , même en supposant que la température y ait été moins variée, car dans ce cas il en serait seulement résulté que les mêmes espèces pouvaient occuper une surface plus considérable qu'à l'époque actuelle , sans qu'aucune d'elles ait pu vivre en même temps partout où il se formait des dépôts , et il existait alors , comme aujourd'hui , des flores et des faunes particulières plus ou moins circonscrites. On peut , au reste , citer des exemples. Ne trouve-t-on pas dans le phyllade de Wissembach (Nassau) un ensemble de coquilles que l'on ne retrouve pas ailleurs dans des dépôts de la même époque , etc. ?

Enfin , on peut conclure des observations les plus récentes que lorsqu'une espèce se trouve exclusivement dans une couche , et pourrait par conséquent la caractériser par sa présence , cette espèce n'a jamais occupé qu'une très petite fraction de la surface du globe et ne peut dès lors caractériser cette couche dans toute son étendue.

D'un autre côté , lorsqu'une espèce a occupé une grande surface , c'est que son organisation lui permettait de vivre , jusqu'à un certain point , dans des circonstances variées ; mais alors on la trouve non seulement dans une couche , mais dans un système de couches et quelquefois même dans plusieurs systèmes de couches , de sorte qu'elle ne peut plus caractériser ces couches ou ces systèmes.

Voyons au reste , en suivant les errements actuels , quelles sont les espèces qui peuvent être considérées comme caractéristiques et servir à constater l'identité d'âge de couches ou de systèmes de couches observés en des points éloignés les uns des autres.

Parmi le nombre total d'espèces que renferme une couche dans une première localité , certaines espèces existaient déjà dans les

couches inférieures ; d'autres se retrouvent dans les couches supérieures , et il n'y a qu'un certain nombre d'*espèces propres* à la couche que nous envisageons dans cette première localité ; mais parmi ces dernières , les unes sont *locales* ou particulières à la localité , les autres plus *répandues* géographiquement se trouvent également dans une seconde localité. Ce ne sont que celles-ci que l'on peut considérer comme *caractéristiques* pour ces deux localités.

On conçoit aisément que le nombre d'*espèces caractéristiques* variera en raison inverse du nombre de localités explorées , et même en raison inverse de leur éloignement , et l'on sera sans doute un jour conduit à reconnaître qu'il n'existe pas d'*espèces caractéristiques d'une couche ou même d'un système de couches pour tous les points du globe*.

Il ne peut donc exister d'*espèces caractéristiques* qu'entre certaines limites géographiques , et les *espèces caractéristiques* doivent varier d'un bassin à l'autre ou d'une latitude à l'autre. Envisagées sous ce point de vue , les *espèces propres* à un bassin n'ont pas toutes la même valeur comme caractère paléontologique ; il n'y a que les *espèces les plus communes* , et que l'on est dans le cas de rencontrer assez souvent dans tous les points où l'on observe , qui puissent être utiles au géologue ; les autres , à cause de leur rareté , sont à peu près inutiles à ce dernier et n'intéressent que le zoologiste.

Enfin , on doit observer que les *espèces caractéristiques d'une couche* diffèrent des *espèces caractéristiques d'un système* dans lequel cette couche est comprise ; que les *espèces caractéristiques d'un système de couches* diffèrent des *espèces caractéristiques d'une formation* dont ce système fait partie , et ainsi de suite ; d'où il résulte que les *espèces caractéristiques* varient suivant la manière de diviser les terrains neptuniens.

En effet , soient des couches A , B , C , etc.

La première A renfermant les fossiles	<i>m , n , o .</i>
La deuxième B —	<i>n , o , p .</i>
La troisième C —	<i>o , p , q .</i>
La couche A sera caractérisée par les fossiles.	<i>m .</i>
La couche B n'aura pas de fossiles caractéristiques.	
La couche C sera caractérisée par les fossiles	<i>q .</i>
Le système AB —	<i>n .</i>
Le système BC —	<i>p .</i>
La formation ABC —	<i>o .</i>

Le rapport du nombre d'*espèces communes* à plusieurs couches

ou à plusieurs systèmes de couches, au nombre total d'espèces que renferment ces couches ou ces systèmes, sera exprimé :

$$\text{Pour le système AB, par} \quad \frac{n + o}{m + n + o + p}$$

$$\text{Pour le système BC, par} \quad \frac{o + p}{n + o + p + q}$$

$$\text{Pour la formation ABC, par} \quad \frac{c}{m + n + o + p + q}$$

Le rapport du nombre d'espèces créées antérieurement au nombre total d'espèces que renferme une couche sera pour la couche B représenté par.

$$\frac{n + o}{n + o + p}$$

Le rapport du nombre d'espèces propres à une couche au nombre total d'espèces qu'elle renferme sera pour la couche A . .

$$\frac{m}{m + n + o}$$

Enfin, le rapport du nombre d'espèces qui ont survécu au nombre total d'espèces que renferme la couche A sera exprimé par

$$\frac{n + o}{m + n + o}$$

Ces nombres font connaître diverses analogies paléontologiques que peuvent présenter les couches ou les systèmes voisins, mais, il faut bien le reconnaître, ces analogies n'ont rien de fixe puisque les nombres varient à chaque découverte de nouveaux fossiles.

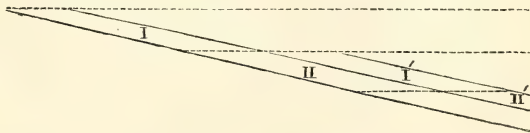
On vient de voir que chaque espèce occupe ou a occupé, dans un temps donné, une petite fraction de la surface du globe : je vais actuellement démontrer qu'on ne peut, dans tous les cas, conclure *à priori*, comme on l'a fait jusqu'à présent, que deux terrains qui renferment des fossiles analogues ont été formés à la même époque, et qu'au contraire ces terrains ont été formés à des époques différentes, s'ils sont ou ont été à des latitudes éloignées.

Les paléontologistes admettent que les formes organiques, tant végétales qu'animales, que l'on rencontre à mesure que l'on s'enfonce dans les couches terrestres, indiquent un climat plus chaud que celui de l'époque actuelle. Cette conclusion ne peut être fondée que sur l'analogie que présentent les types fossiles avec ceux de l'époque actuelle vivant entre les tropiques.

Or, s'il est vrai que l'on trouve dans certaines couches tertiaires

des zones tempérées ou polaires des fossiles dont les formes sont plus voisines de celles des êtres vivant sous l'équateur que de celles des êtres qui vivent sous les zones ci-dessus, on se trouve exposé, par la comparaison, à rapporter à une même époque géologique les fossiles du sol tertiaire moyen des zones tempérées et polaires et les êtres vivant actuellement sous l'équateur. Il est vrai qu'une semblable erreur ne serait commise que par un paléontologiste qui ne connaîtrait pas bien la faune et la flore actuelles ; mais, lorsqu'il s'agira de comparer les fossiles entre eux, on n'aura aucun moyen de s'assurer que les couches renfermant des espèces analogues dans des parties éloignées du globe se rapportent à la même époque géologique. Cela provient de ce que *les formes organiques sont bien moins en rapport avec les temps qu'avec les conditions d'existence variables à chaque époque d'un point du globe à l'autre*. Tel être offre une organisation en rapport avec telle température, telle pression d'eau, etc., et peut fournir des indications sur les diverses circonstances que présentait le milieu dans lequel il vivait, mais ne saurait nous donner sur l'époque géologique à laquelle il appartient que des notions plus ou moins vagues.

Une autre cause, qui peut encore induire en erreur sur l'époque relative de formation de couches voisines, tient aux soulèvements lents de l'écorce du globe, qui ont eu lieu à toutes les époques géologiques aussi bien qu'à l'époque actuelle. En effet, si l'on admet que chaque espèce se tient de préférence dans une certaine zone comprise entre deux surfaces parallèles à celle de l'Océan, il est clair que, si le fond incliné de la mer sur lequel vivent diverses espèces venait à se soulever graduellement, ces espèces devraient, pour se trouver dans les mêmes conditions, se déplacer progressivement. Or, il résulterait d'une semblable migration qu'une même couche renfermerait en I et en II des espèces différentes, et que deux couches voisines contiendraient en I' et en II' des espèces semblables.



Quoique les considérations qui précèdent puissent passer pour une preuve suffisante que les terrains situés sous diverses latitudes, et qui renferment des fossiles analogues, ont été formés à des

époques différentes, et que ceux qui renferment des fossiles différents ont pu, au contraire, être produits à la même époque, je vais néanmoins prouver, en remontant à l'origine des êtres, que cette proposition, rigoureusement démontrée pour l'époque tertiaire, est également vraie pour toutes les époques géologiques.

Si les animaux et les végétaux n'ont paru sur le globe que lorsque le refroidissement y eut atteint certain degré (99° par exemple), il est clair que la vie ne s'est pas développée en même temps sur tous les points de sa surface, et qu'elle a dû commencer vers les pôles et se propager vers l'équateur à mesure que la température s'abaissait et que les conditions d'existence y devenaient comparables à celles que présentaient les régions polaires lorsque les premiers êtres y furent créés.

Si l'on représente par A, B, C.... la série des êtres qui se sont succédé sous les pôles, par A', B', C'.... celle des êtres des zones tempérées, et par A'', B'', C'' celle des êtres de la zone équatoriale, séries dans lesquelles les espèces A, A', A'' ont plus d'analogies entre elles qu'avec les autres espèces, les espèces B, B', B'', plus d'analogies entre elles qu'avec toutes autres, etc., ces diverses espèces seront distribuées dans l'espace et dans le temps comme on le voit ci-dessous.

		Temps.												Latitudes.	
		A	B	C	.	.	.	.	.	.	X	Y	Z		Série polaire.
			A'	B'	C'	.	.	.	.	.	.	X'	Y'		Série des zones tempérées.
				A''	B''	C''	.	.	.	.	.	.	X''		Série équatoriale.

Les lignes horizontales de ce tableau montrent qu'à toutes les latitudes les êtres se sont succédé suivant une même loi, que nulle part le développement progressif de l'organisation n'est interverti, soit que l'on considère les espèces de chaque époque comme des créations particulières ou comme des modifications qu'auraient subies les premiers êtres pour se prêter aux changements successifs des conditions d'existence.

Les lignes verticales montrent que les animaux et les végétaux qui ont vécu en même temps sous des latitudes différentes, et que nous trouvons, par conséquent, dans des terrains formés à la même époque, étaient différents, comme cela est prouvé à l'époque actuelle, où les êtres X'' de la série équatoriale ont peu d'analogie avec les êtres Y' de la série des zones tempérées, et moins encore avec les êtres Z de la série polaire.

Lorsque la vie se manifesta entre les tropiques, les premiers êtres polaires avaient déjà subi de grandes et profondes modifications par suite de l'abaissement de la température, ou avaient été remplacés par des créations dont l'organisation pouvait s'accorder avec les nouvelles conditions d'existence que présentaient alors ces régions.

Les lignes obliques AA'', BB'', font voir que, sous des latitudes différentes, des êtres semblables ont pu vivre à diverses époques, et, par conséquent, avoir laissé des traces de leur existence dans des terrains différents. Les êtres A, A', A'', qui commencent les séries, sont analogues, parce qu'ils correspondent à des conditions semblables de température, etc.; mais ils ont vécu à des époques différentes, soit qu'on les considère comme des espèces polaires qui se transportèrent vers l'équateur, ou comme des créations particulières qui eurent lieu sur tous les points du globe, où les conditions d'existence devinrent analogues à celles que présentaient les pôles lorsque les premiers êtres y furent créés.

Si les fossiles les plus anciens des divers points du globe se ressemblent, ce n'est pas parce qu'ils se trouvent dans des terrains formés à la même époque, comme on l'a jusqu'à présent admis *à priori*, mais plutôt parce qu'ils ont vécu sous l'influence d'une certaine température, etc. Les êtres B, B', B'', sont dans le même cas; il en est de même des êtres C, C', C'', des êtres X, X', X'', qui correspondent à notre température équatoriale, comme le prouvent du reste les fossiles X' de la période tertiaire moyenne de la zone tempérée boréale (bassin de Paris) et les êtres X'' vivant entre les tropiques.

La distribution géographique du terrain houiller à la surface du globe semble appuyer cette théorie. On sait, en effet, que ce terrain abonde dans les zones glaciale et tempérée de l'hémisphère boréal, tant en Chine et en Amérique qu'en Europe, tandis que les dépôts charbonneux que l'on a cru pouvoir rapporter au terrain houiller sont rares et peu développés sous la zone équatoriale: ne peut-on pas en conclure que l'acide carbonique, fort répandu dans l'atmosphère à cette époque, fut en grande partie fixé par la végétation dans les zones glaciales et tempérées lorsque la température trop élevée de l'équateur ne permettait pas encore au règne végétal de s'y établir?

Il serait intéressant de savoir si les régions tempérées et polaires de l'hémisphère austral renferment d'aussi puissants dépôts charbonneux que celles de l'hémisphère boréal; mais la plus grande partie de ces régions étant couverte par l'Océan, il sera difficile d'éclair-

cir cette question ; quoi qu'il en soit, on cite des dépôts houillers au Chili, dans le S. de la Nouvelle-Hollande, à la terre de Van-Diemen.

Il est donc démontré par ce qui précède :

1° Que des êtres analogues ont vécu dans des temps différents, ce qui est appuyé par la comparaison des fossiles trouvés dans la période tertiaire moyenne de la zone tempérée boréale et des êtres vivant entre les tropiques ;

2° Que les séries organiques appartenant à des latitudes différentes ont pu commencer à des époques différentes par des espèces analogues, ce que confirme l'étude des fossiles les plus anciens des diverses parties du globe ;

3° Que, dans le même temps, les êtres organisés des diverses zones géographiques étaient différents, ce qui est également vrai dans le temps actuel.

Dans tout ce qui précède, nous avons, pour plus de simplicité, supposé, avec la plupart des paléontologistes, que la série organique correspondait partout à un décroissement continu de la température à la surface du globe ; mais si l'on admet qu'à l'époque où les blocs erratiques furent déposés, la température de l'Europe était plus basse qu'à l'époque actuelle, et qu'elle s'est relevée depuis ; si l'on admet, en outre, que de semblables phénomènes ont eu lieu à diverses époques, comme il y a de fortes raisons de le croire, et que, par conséquent, loin d'avoir baissé d'une manière continue, la température ait, à chaque révolution, baissé plus rapidement pour se relever ensuite jusqu'à un certain point, à partir duquel elle ait repris une marche décroissante, on conçoit que non seulement des races entières d'animaux et de végétaux aient été détruites lors de ces abaissements plus rapides de température, mais qu'à partir de chaque *minimum* le développement organique ait dû suivre d'abord une loi inverse de celle qui aurait correspondu à un décroissement continu. Cependant aucune observation assez précise ne confirme encore cette conclusion pour les séries de terrains antérieurs à l'époque glaciaire.

Enfin si, comme le pense M. de Boucheporn, l'axe terrestre changea de position à chaque révolution, et si les diverses formations eurent leur équateur particulier, il en sera résulté (que l'on admette ou non une diminution progressive de la chaleur propre du globe) une distribution climatérique en rapport avec chaque position de l'axe, et l'on devra trouver en certains points des êtres équatoriaux dans des formations postérieures à d'autres formations renfermant des êtres polaires. Il est aisé de voir que la succession

des températures n'a pu alors être semblable dans des localités éloignées, et que, par conséquent, si les formes organiques sont un peu en rapport avec la température, aucune série n'offrira la même succession d'êtres organisés. L'étude ultérieure des fossiles que renferment les formations peut infirmer ou confirmer l'hypothèse de M. de Bouchepon, en faisant voir s'il existait aux diverses époques géologiques des lignes isothermes distribuées d'une manière particulière; mais le jour où la paléontologie confirmera cette hypothèse, elle aura cessé d'être un caractère géologique.

III.

Une formation neptunienne devant comprendre tout ce qui s'est déposé par sédimentation entre deux grandes révolutions successives, il s'ensuit que le plus sûr moyen de bien limiter cette formation est celui qui est basé sur la discordance qui peut exister entre sa stratification et celle des formations qui l'ont précédée ou suivie. Malheureusement on ne peut pas toujours constater cette discordance : un soulèvement américain ne dérangerait probablement pas le sol européen, et la nouvelle formation se déposerait à la surface de ce dernier en couches dont la stratification serait parallèle à celle des couches de la formation précédente.

Lorsque des discordances ne peuvent être constatées, on peut y suppléer, jusqu'à un certain point, par des caractères minéralogiques et paléontologiques. Le soulèvement d'une chaîne de montagnes a toujours déterminé de brusques et grands mouvements dans les eaux, et a ordinairement été accompagné ou suivi d'éjaculations ferrugineuses, etc., d'où il est résulté des dépôts de transport dont la composition, la texture, la couleur, etc., tranchent fortement avec celles des roches formées pendant l'époque de tranquillité qui a précédé. Ainsi, près des parties de l'écorce du globe qui ont été brusquement soulevées, le commencement d'une formation est presque toujours marqué par des bancs de poudingue et autres roches conglomérées; ou des dépôts ferrugineux. A la vérité, les parties conglomérées diminuent de volume à mesure qu'on s'éloigne de l'axe de dislocation, les cailloux sont successivement remplacés par des grains de sable de plus en plus fins, et même par de l'argile; mais, dans tous les cas, il y a toujours une différence minéralogique correspondant au changement survenu dans les eaux : ici une formation calcaire est recouverte par un dépôt argileux; ailleurs, la formation calcaire est mélangée d'argile, de sable, de matières ferrugineuses, etc. Le fer, à l'état

d'oxyde, d'hydrate, etc., éjaculé à chaque époque géologique, a été, soit en dissolution, soit en suspension mécanique, transporté par les eaux à de grandes distances, et a coloré en rouge, en jaune et quelquefois en vert les dépôts qui marquent le commencement des formations.

Ces différences minéralogiques se sont successivement effacées à mesure que le calme se rétablissait; la végétation a peu à peu repris son empire à la surface du globe, et les produits qui en sont résultés ont formé les dépôts charbonneux qui terminent souvent les formations.

C'est ainsi que le terrain ardennais commence par des quartz et des phyllades ferrugineux (rouges, verts ou aimantifères), et se termine par des phyllades d'un noir bleuâtre; que le terrain rhénan commence par des poudingues et des roches ferrugineuses dont la stratification est en discordance avec celle du terrain ardennais, et se termine par des psammites, etc., à empreintes végétales, qui ressemblent beaucoup au psammite houiller, et qui renferment quelquefois des couches d'anthracite; que le terrain anthracifère, dont la stratification est, dans le Brabant, en discordance avec celle du terrain rhénan de cette région, commence par des poudingues et des roches fortement imprégnées de principes ferrugineux, et se termine par le puissant dépôt houiller; enfin, c'est ainsi que commencent le terrain pénéen, le terrain triasique, etc.

La présence des fossiles peut aussi, comme je l'ai dit plus haut, suppléer jusqu'à un certain point, aux discordances de stratification. On conçoit, en effet, que, vers les localités fortement remuées par les dislocations du sol, presque tous les êtres organisés aient péri et que ceux qui leur ont succédé aient été conformés de manière à pouvoir se propager au milieu des nouvelles conditions d'existence qui durent en résulter; cependant on doit observer que ce moyen perd, comme le caractère minéralogique, de son importance à mesure qu'on s'éloigne des lignes de dislocation, et qu'à une assez grande distance de ces lignes, les conditions de l'existence n'ayant pas été notablement changées, les êtres organisés auront continué à vivre ou n'auront été détruits qu'en partie.

Le rapport du nombre d'espèces d'une formation au nombre d'espèces qui ont survécu dans la formation suivante, et le rapport du nombre d'espèces que renferme celle-ci au nombre d'espèces nouvelles, donnent, si l'on a égard à leur organisation, une mesure des changements survenus dans cette localité, et peuvent

quelquefois fournir des données pour établir une limite entre ces formations.

Il y a néanmoins une circonstance à laquelle on ne fait pas attention et qui ôte une grande partie de la valeur du caractère paléontologique pour limiter les formations, c'est que les animaux et les végétaux qui ont appartenu à une formation, et qui ont péri lors de la catastrophe qui termina celle-ci, doivent se trouver parmi les matériaux de transport qui constituent les premières couches de la nouvelle formation; d'où l'on peut conclure que *les divisions paléontologiques ne peuvent concorder exactement avec les divisions géologiques fondées sur les révolutions du globe.*

C'est ainsi que des analogies paléontologiques ont, dans ces derniers temps, fait réunir au terrain rhénan du Devonshire l'*old-red-sandstone*, que toutes les considérations géologiques doivent faire considérer comme le premier terme de la grande série anthraxifère qui se termina par le terrain houiller.

M. de Verneuil, sans vouloir critiquer sur une première lecture le Mémoire de M. le professeur Dumont, combat cette opinion exprimée par l'auteur, que, si les modifications ou mutations des espèces fossiles dans les terrains sont bien tranchées près des lignes de dislocation, elles s'effacent à mesure qu'on s'en éloigne; de telle sorte qu'on ne devrait attribuer aux caractères paléontologiques qu'une valeur locale. Il regrette que M. Dumont n'ait pas cité des faits à l'appui de son opinion, et déclare que ses propres observations l'ont conduit à reconnaître que la succession des espèces animales était la même dans les grandes plaines à couches horizontales que près des axes de soulèvement. Ainsi, dans les plaines de la Russie, dans celles du N.-O. des Etats-Unis, là où les couches s'étendent horizontalement sur des surfaces de 300 à 400 lieues, les fossiles présentent les mêmes modifications suivant les terrains que près de l'Oural ou des Alleghanys. Leur loi de développement successif y est même plus évidente, en ce qu'elle y est plus facile à reconnaître. C'est ce dont il est aisé de se rendre compte, si l'on réfléchit que cette loi est basée sur la superposition des couches terrestres, et que là où la superposition devient incertaine, comme dans certains pays de montagnes, là aussi la loi doit s'obscurcir.

M. Michelin objecte aussi que dans certains cas les faunes plus anciennes recouvriraient les plus modernes.

M. d'Omalius répond que M. Dumont n'a parlé que de la superposition de faunes vivant dans la mer à différentes profondeurs.

M. Hébert fait observer que les mélanges des différentes faunes latitudinales devraient se faire indistinctement, tandis que le mélange n'a lieu que pour des terrains en contact et à ce contact même.

M. d'Omalius répond que nous ne connaissons pas assez le globe pour avoir une idée de tous ces mélanges par contact.

M. Hébert insiste en faisant remarquer qu'il y aurait des mélanges dans le sens horizontal aussi bien que dans le sens vertical.

M. Frapolli donne lecture du Mémoire suivant :

Réflexions sur la nature et sur l'application du caractère géologique, par M. L. Frapolli.

La discussion entre l'efficacité des différents caractères dont on peut se servir pour la détermination de l'âge des formations sédimentaires, et partant de celui des roches éruptives, date de loin. Des esprits supérieurs s'y sont essayés ; on ne saurait ajouter rien de bien nouveau à ce que l'on a dit sur ce sujet. Les théories sur lesquelles s'appuie le caractère géologique sont anciennes ; et pourtant il semblerait presque qu'on en fût encore à l'état d'incertitude. En parcourant plusieurs pays étrangers, j'ai trouvé souvent tant de défiance contre l'emploi du caractère géologique, en lisant différents ouvrages, même français, et des plus récents, j'ai dû m'apercevoir qu'il était encore si peu connu, que je ne crois pas tout à fait inutile de dire quelques mots sur sa nature et sur la manière dont il convient de l'appliquer.

Trois genres de caractères se sont toujours disputé l'honneur d'être le pivot de la géologie. L'importance de ces différents auxiliaires a diminué ou s'est accrue à mesure que les connaissances positives de la science se sont développées. C'est ainsi que le caractère minéralogique a presque exclusivement régné pendant un temps ; que plus tard le caractère paléontologique l'a dépassé de beaucoup en influence ; que le caractère géologique est devenu à son tour le plus important, et que son application sera de plus en

plus décisive, à mesure qu'un plus grand nombre de travaux précis et de cartes topographiques exactes pourront servir de base à son emploi.

Nous fournir un signe de reconnaissance authentique, dont on puisse faire usage dans les endroits les plus éloignés d'un bassin, lorsqu'on en connaît bien une petite partie, c'est là le grand avantage du caractère que l'Anglais Smith a, le premier, employé à la détermination des terrains de sédiment; avantage réel et surtout fort commode, mais aussi le seul, et, comme on le voit, subordonné au principe stratigraphique, et dont l'efficacité, principalement pour ce qui regarde les terrains plus modernes, ne saurait être grande lorsqu'on quitte les bassins modèles (1). M. Buckland (2),

(1) Il n'est pas hors de propos de rappeler à cet égard un fait cité par un de nos confrères, qui, par sa vaste science paléontologique, est sans contestation une des premières notabilités européennes.

« Si l'on compare les espèces de l'étage oxfordien de la Russie méridionale, observées par M. Hommaire de Hell, aux espèces du même étage, rencontrées dans la Russie septentrionale par MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling, on s'apercevra que sur les *sept* espèces de Céphalopodes de la Russie méridionale (dont six se trouvent simultanément en France), une seule, l'*Ammonites Brightii*, est commune; tandis qu'il s'en trouve dans la Russie septentrionale *vingt-six* tout à fait distinctes. »

M. Alcide d'Orbigny a déduit de ce fait que les mers du nord et celles du midi de la Russie appartenaient à des bassins différents. Je le crois également. Mais alors que penser de ce caractère spécifique qui, suivant quelques personnes, doit servir infailliblement à distinguer les formations successives, et qu'on voit ici circonscrit au même bassin?

Cette différence des espèces fossiles dans des dépôts de même âge, selon les divers bassins, est encore plus saillante pour les terrains tertiaires. Laissons continuer le même savant.

« De 32 espèces tertiaires de la Bessarabie, *dix* seulement sont communes aux terrains de la Volhynie et de la Podolie, et *aucune* aux terrains de France de la même époque. »

Or, l'auteur de ces considérations, en s'appuyant sur l'observation de leur facies d'ensemble, regarde tous ces terrains, ainsi que ceux du bassin de Vienne, avec MM. de Hauer et Bronn, comme contemporains des faluns de la Touraine et de Bordeaux.

Voyez pour de plus grands détails la *Paléontologie du voyage de M. X. Hommaire de Hell dans les steppes de la Russie méridionale*, par M. Alcide d'Orbigny, III^e vol., p. 435 et suivantes, et ce que dit M. de La Bèche dans son *Art d'observer en géologie* (trad. de M. de Collegno; Paris, 1838, p. 17), ainsi que M. de Verneuil (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XI, p. 178).

(2) Séance extraordinaire de la Soc. géol. de France, à Boulogne-sur-Mer, septembre 1839.

M. Prévost, dans son beau Mémoire sur la submersion itérative des continents; M. Boué, en cent endroits différents; Geoffroy-Saint-Hilaire lui-même, le zoologiste éminent, se sont élevés contre cette omnipotence que certaines personnes voudraient reconnaître au caractère paléontologique. M. Alexandre Brongniart, l'illustre auteur de la *Géologie des environs de Paris*, s'est prononcé, lui aussi, pour les déductions tirées de la stratification. M. Dumont vient de résumer plusieurs des principales objections et de s'élever contre la prépondérance de la paléontologie dans les questions géologiques. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ont prouvé, par toute leur vie consacrée à l'établissement et au développement des lois stratigraphiques, le cas limité qu'ils faisaient de ce même caractère. Son application absolue conduirait nos petits-fils ou nos successeurs à regarder comme contemporains et quasi-cohabitants les hommes et les mammouths dont les dépouilles auraient été enfouies pêle-mêle dans les dépôts meubles actuels stratifiés par une submersion des continents, si une partie de nos terres, après avoir séjourné au fond de l'Océan, venait à revoir le jour encore une fois. Que l'on ajoute à tout cela l'incertitude dans laquelle se trouvent les zoologistes eux-mêmes sur la définition de l'espèce et même du genre (1).

Le caractère zoologique, appliqué à la détermination des couches terrestres, n'a donc pour moi qu'une valeur de comparaison (2). Les considérations minéralogiques ne pouvant conduire

(1) Tout le monde reconnaît que les genres peuvent se conserver à travers plusieurs époques. Or, voici pour les espèces : ce sont les résultats des recherches faites avec les mêmes collections sur les fossiles du crag de l'Angleterre par un paléontologiste de première ligne de Paris, M. Deshayes, et par un savant également assez célèbre en Allemagne. M. Deshayes a trouvé parmi les fossiles du crag de l'Angleterre 50 pour 100 de coquilles analogues à celles qui vivent de nos jours dans les mers septentrionales. — Pour M. Beck de Copenhague, il n'y en a point d'analogues.

M. Desnoyers, qui n'a cessé de s'occuper de la faune tertiaire, et qui rapporte le fait que nous venons de citer (*Bull. géol.*, séance du 3 avril 1837), ne s'était pas fait faute d'indiquer la multiplicité des causes qui font varier les espèces d'une même époque sous les différents climats, et même dans les différentes parties d'un bassin, la composition des eaux, la profondeur des courants, la disposition et la nature des côtes et du fond, les vents, les saisons, etc. (*Rapport des travaux de la Soc. géol. de France pour 1834*). On sait du reste avec quelle facilité on accoutume les espèces marines à l'eau douce.

(2) Ce n'est qu'en observant le caractère général d'ensemble des pro-

que bien rarement à une conclusion quelconque, et amenant souvent le géologue à des résultats complètement erronés (1), c'est donc sur le caractère géologique, sur la stratigraphie, la seule base véritable de la science, qu'on doit porter, je crois, son attention principale dans la détermination des formations inconnues (2).

ductions organiques d'une époque, et non par la subdivision des espèces, que l'on peut arriver par l'examen des fossiles à des déterminations non erronées. M. Élie de Beaumont, qui dans ses cours a souvent prêché ce principe, se sert d'une figure géométrique pour représenter aux sens la marche progressive du développement des genres. Il a imaginé un losange dont les côtés tournent autour des angles comme autour de charnières, et qui passe ainsi par toutes les formes possibles, depuis la plus large jusqu'à la plus allongée ou *vice versa*. Si, lorsqu'après avoir bien étudié dans un bassin donné l'époque de l'apparition d'un genre fossile, le mode de son développement et ses transformations successives dans la durée des siècles, on observe dans un terrain inconnu des individus dont la forme générale se rapproche plus ou moins de l'état de ce genre à son origine, ou bien d'un développement plus complet, on pourra juger par analogie de la hauteur à laquelle on se trouve dans l'âge des formations. C'est en procédant d'une manière analogue et par un sentiment exquis de l'état de l'organisme à chaque période, sentiment qui découvre la loi générale au milieu de modifications innombrables, et qui résulte de la comparaison de millions d'individus, que M. Alcide d'Orbigny et M. de Verneuil sont parvenus, dans la détermination des terrains de contrées éloignées, par la simple comparaison des fossiles, à ce degré de sûreté qui nous étonne. Ce n'est qu'en suivant ce principe que les meilleurs paléontologistes arrivent à de bonnes conclusions, quoique souvent ce ne soit qu'en protestant de leur dévouement à la délimitation des formations par des espèces bien définies et soi-disant caractéristiques. Ces considérations générales sont les seules qui permettent un emploi sûr du caractère organique. L'adoption franche de ce principe par la majorité des paléontologistes ne ferait qu'accroître l'importance de leur science

(1) Dans un ouvrage allemand publié en 1825 par un savant qui a beaucoup fait pour la géologie, il était dit, par exemple, avec le plus grand sérieux du monde, que : « tous les grès blancs et qui ont un aspect luisant appartiennent au *quadersandstein*. » On ne s'embarrassait guère de savoir si ce *quadersandstein* faisait partie du grès bigarré, du lias ou de la craie, même supérieure; peu importait si pour cela on était obligé de mêler toutes les formations, et de dessiner sur les cartes, comme limites géologiques, tant de lignes courbes, à désespérer le géologue le plus exercé, qui eût cherché à en déduire un profil.

(2) M. Dufrénoy a l'habitude de ranger, parmi les caractères qui peuvent faire connaître les minéraux suivant l'ordre de leur importance, les caractères *géométriques* et *chimiques*, les caractères

L'axiome que les couches supérieures dans des sédiments horizontaux ou presque horizontaux sont également celles qui ont été formées en dernier lieu, est le fondement de la géologie. La science stratigraphique nous apprend à les distinguer des couches inférieures, même dans les cas très variés où elles ne sont plus dans leur position originale. La superposition transgressive, lorsqu'elle existe réellement, étant un indice certain d'une différence dans l'âge de deux dépôts, nous enseigne à déterminer dans toutes les circonstances lequel est le plus ancien. L'observation des débris organiques renfermés dans les couches, et même celle de leur aspect minéralogique, devient un moyen de reconnaissance. Les roches éruptives sont classées d'après la hauteur où elles se trouvent parmi les dépôts de sédiment (1). Ce genre de recherches n'est

extérieurs et les caractères empiriques. S'il était permis de faire un rapprochement, je comparerais aux premiers le caractère géologique et le caractère paléontologique employé largement; tandis que ce dernier caractère, lorsque l'on considère les espèces comme caractéristiques, et les propriétés minéralogiques, se placeraient à côté des deuxièmes et des troisièmes. Ce n'est que par le caractère géologique et paléontologique dans son ensemble, qu'on peut faire de la géologie en grand, de cette géologie qui établit le canevas de toute une contrée, espèce de triangulation géodésique au milieu de laquelle on peut plus tard déterminer les points secondaires. Mais dans cette dernière opération, dans la peinture monographique des contrées subordonnées, la paléontologie par espèces et l'aspect minéralogique peuvent être très utiles et même nécessaires. La différence entre ces deux classes de caractères est aussi grande qu'elle l'est entre un continent ou une région étendue et un groupe circonscrit de montagnes ou un petit coin de pays, qu'elle l'est entre les maîtres de la science ou les simples adeptes qui se débattent encore contre les difficultés qu'elle présente. On ne peut faire la géologie ou la paléontologie de l'Amérique, de l'Asie, de la Russie ou de la France, qu'en employant les grands caractères; on peut parfaitement s'en passer lorsqu'on ne fait plus que glaner dans quelques massifs isolés de ces pays.

(1) Déjà M. Boué, dans son *Tableau de la classification des terrains*, publié en 1827, a essayé un classement général des roches plutoniques, d'après l'âge des roches de sédiment qu'elles ont bouleversées. On a d'ailleurs cherché à distinguer les roches éruptives par leurs caractères pétrographiques. M. Fournet, au contraire, dans ses *Etudes sur les Alpes*, s'efforce de grouper ces roches par époques géologiques, sans égard à leur aspect ni même à leur composition minéralogique. Il se fonde, pour réunir les groupes, sur les passages d'une roche à l'autre, sur les récurrences de certains éléments, sur la composition chimique et sur l'époque de leur éjection. De toutes ces méthodes, celle qui consiste à classer ce genre de roches d'après leur injection

point difficile et conduit à des résultats assez sûrs, lorsqu'on ne sort pas d'un même bassin et que les couches sédimentaires ne sont pas trop bouleversées. Dans ce dernier cas, leur détermination devient beaucoup moins facile. On arrive même à un point où ces couches sont tellement redressées, contournées, et brisées, où des causes, soit générales, soit particulières, et postérieures à leur dépôt, en ont tellement masqué et effacé tous les caractères paléontologiques et minéralogiques, qu'il devient à peu près impossible d'arriver par ces seules données à une solution. Mais lorsqu'en quittant le bassin géologique que l'on a pris pour type, l'on veut étendre ces mêmes recherches à des contrées éloignées, et qu'on veut comparer au premier des bassins qui n'ont avec lui aucun rapport de continuité, que des continents ou des chaînes de roches massives ont complètement isolés dès leur origine, alors ni la minéralogie, ni la paléontologie telle qu'on la conçoit communément, ne sauraient être d'un secours bien certain. La stratigraphie elle-même, considérée comme une série de faits isolés, nous fait défaut, et l'on ne trouve une issue qu'en remontant aux lois qui la régissent, qu'en suivant la seule voie qui nous puisse conduire à la lumière; cette voie, c'est celle que la pensée philosophique du Danois Niels Steensen (vulgairement Sténon) avait entrevue à Florence dès 1669, que Lazzaro Moro a indiquée en 1740, que les recherches de Humboldt sur la constance de la direction des couches primaires nous ont ouverte il y a près d'un demi-siècle. C'est alors qu'il faut recourir au grand principe du parallélisme reconnu dans les directions des soulèvements contemporains, principe qui suffit à toutes les exigences, qui reste toujours debout, même là où les autres sciences auxiliaires sont obligées d'avouer leur impuissance (1).

Ce principe, qui s'appuie d'un côté sur l'observation du fait que les couches relevées par des roches massives ayant un alignement

dans les couches sédimentaires me paraît encore la seule qui, dans l'état actuel de la science, présente quelques chances certaines de succès.

(4) Voici plus précisément les degrés par lesquels on est arrivé à la découverte des lois du parallélisme des directions des couches contemporaines.

N. Steensen et L. Moro ont reconnu avec plus ou moins de clarté la discordance de stratification des dépôts d'âge différent; Humboldt (*Journal de physique*, messidor an ix; *Lettre à La Metherie*) a appelé l'attention sur la constance des directions des roches schisteuses; M. Élie de Beaumont a trouvé la relation entre la direction des dislocations et les époques de discordance de stratification.

identique, appartiennent à une même époque de formation, est d'ailleurs en rapport intime avec les lois générales que l'on déduit de considérations purement théoriques; de ces lois qui découlent de l'hypothèse de la fusion primitive de notre globe, de la chaleur élevée dont son centre serait encore le siège, et de son refroidissement successif. Je ne remettrai pas en question ici cette hypothèse sortie un jour des méditations de Descartes et de Leibnitz, que Buffon a entourée du prestige de son style majestueux et dont la première idée se perd dans la nuit des temps (1). Je ne défendrai point l'hypothèse de la chaleur centrale de toutes les autres conceptions sans nombre et plus ou moins vraisemblables que l'imagination des hommes a enfantées dans l'espoir de deviner la formation de l'univers et de ses parties. Herschel avait soupçonné que le soleil et les planètes n'étaient que des anciennes nébuleuses condensées. Nos confrères M. Angelot et M. Lenglet se sont attachés à expliquer l'accumulation de cette chaleur par la concentration de la matière primitive et par de profonds raisonnements sur les lois de l'attraction (2). Le génie de Laplace, les calculs de Fourier, les observations positives de Hutton, de Humboldt, d'Arago, de M. de Buch, de d'Aubuisson, de Fox, etc., une compilation heureuse de ces éléments par M. Cordier et quelques expériences qu'il a faites dans les mines, ont achevé de lui donner corps et consistance. En la rapprochant du mode d'origine probable de toutes les planètes, en l'appuyant des lois imprescriptibles de la physique et du mouvement des astres, Laplace lui a imprimé un tel degré de probabilité qui s'approche bien de la certitude. La découverte du parallélisme des chaînes de montagnes de même âge est à la fois une des con-

(1) Il serait tout à fait hors du cadre et du but de ce petit travail de toucher à l'histoire de toutes les phases par lesquelles l'idée cosmogonique a passé avant d'arriver au point pratique où elle en est aujourd'hui. D'ailleurs, comme, dans tous les cas, je serais forcé de me limiter à quelques indications, je ne pourrais que redire ce qu'un de nos confrères, M. Delbos, a résumé avec tant de clarté et de concision, dans une note courte, mais empreinte d'un haut sentiment philosophique, qu'il a lue à la séance du 18 mai 1846 (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2^e série, t. III, p. 510).

(2) Mém. de M. F. Angelot sur les conséquences de l'attraction, etc. (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XI, p. 136, 1840), et notes inédites de mon ami.

Lenglet, *Mém. sur l'état primitif et l'organisation de l'univers*. Paris, 1837.

séquences les plus fécondes et la meilleure preuve de cette supposition (1).

L'hypothèse de la chaleur centrale est désormais le lien de réunion de tous les faits observés, la seule dans laquelle ces mêmes faits puissent rentrer sans opposition ; c'est là, on peut le dire, un véritable *principe* ; principe sublime sans lequel la géologie ne serait plus qu'un amas de faits incohérents et inexplicables. La presque totalité des géologues s'y sont rangés ; personne ici, je crois, n'est disposé à le contester. Mais même parmi ceux qui ont adopté ces idées comme base fondamentale, on s'est divisé sur les effets qui doivent résulter, à la surface de la terre, du refroidissement progressif de son intérieur. La Société connaît les différentes opinions qui ont été émises sur ce sujet ; je ne les discuterai point, car cela m'entraînerait beaucoup trop loin de mon but ; je me bornerai à indiquer les plus saillantes. Des trois principaux systèmes qu'on a imaginés pour expliquer la cause des dérangements des couches terrestres, l'un est par trop contraire à toutes les lois de la physique pour qu'on se donne la peine de le discuter ; la simple contraction de l'écorce déjà solidifiée et refroidie ne saurait donner lieu à des épanchements du liquide intérieur (2), car il est évident que cette contraction ne saurait être équivalente à la diminution de volume que doit éprouver une couche liquide lors de sa solidification, eu égard surtout à la nature probablement métallique de notre globe (3). L'autre système, mieux raisonné, entre plus profondément dans la question ; c'est celui qui consiste à supposer que le bain liquide augmente de volume par la cristallisation, et qu'il se produit ainsi des pressions énormes à la surface intérieure de l'écorce terrestre ; ce système est beaucoup plus spécieux. Car il est vrai que nous ne connaissons à peu près que deux corps, l'eau et la fonte blanche, qui augmentent de

(1) Les auteurs que nous avons cités ci-dessus ne sont point placés suivant l'ordre chronologique de leurs observations, mais d'après la partie de l'idée théorique qu'ils ont illustrée et fait avancer par leurs travaux.

(2) N'ayant à considérer que les manifestations et les effets des matières intérieures à la surface, je ferai abstraction de l'hypothèse connue, et qui me paraît jouir d'une grande probabilité, que ces matières, soumises à une pression énorme (d'après l'épaisseur actuelle de la croûte, d'environ 40,000 atmosphères), constituent un liquide homogène, dont les molécules ne seraient pas très mobiles.

(3) Voyez, à ce sujet, les discussions qui ont eu lieu à la Société géologique de France (*Bull.*, séance du 21 mars 1842).

volume au moment de leur solidification , mais on pourrait répondre, d'un côté, que personne ne saurait déterminer avec certitude la nature des substances qui forment le noyau de notre globe; de l'autre, que s'il y avait diminution de volume dans la matière du noyau liquide lors de son passage à l'état solide, la densité de ces matières étant augmentée, les parties solidifiées ne pourraient surnager, mais qu'elles seraient attirées vers le centre de la terre pour former ainsi un globe à noyau solide, entouré d'un bain en fusion. Ces arguments n'ont qu'une valeur apparente. D'abord je ne saurais comprendre pourquoi l'on devrait supposer gratuitement que l'intérieur de la terre n'est formé que de matières qui augmentent de volume en se solidifiant, lorsque les propriétés de la grande majorité des substances qui entrent dans la masse des déjections soit anciennes, soit modernes, et que nous sommes à même d'analyser, viennent donner un démenti péremptoire à une telle opinion. La théorie des couches liquides de densités différentes, qui surnagent les unes aux autres dans l'intérieur de la terre, théorie émise par Laplace et prouvée par les observations sur la densité moyenne de la terre, qui donnent à l'ensemble de notre globe une pesanteur spécifique environ double de celle des roches de la surface, répond suffisamment à la deuxième objection (1). D'ailleurs la régularité remarquable que l'on observe dans la disposition des grandes chaînes de montagnes appartenant à un même soulèvement, qui s'étendent en ligne droite sur d'immenses étendues à travers les continents et les mers; le parallélisme des chaînes de même âge sur tous les points du globe qui appartiennent à une zone déterminée, sont des faits qui s'opposent directement à l'admission des deux explications que nous venons d'indiquer (2).

(1) Calculs donnés par M. Élie de Beaumont dans ses cours, d'après les expériences les plus récentes, celles de M. le professeur Reich de Freiberg (*Bull. de la Soc. géol. de France*, séance du 21 mars 1842), et Mém. de M. Angelot sur les conséquences de la contraction des roches ignées lors de leur solidification (*Bull. géol.*, t. XIV, p. 49).

(2) Je ne pourrais me dispenser de rappeler ici un système qui a été remis sur le tapis à plusieurs reprises et avec insistance; j'entends parler de celui qui attribue à des changements présumés de l'axe terrestre les dérangements et la variété qu'on observe dans la surface exondée de notre planète. Ce système, dont l'idée était maintes fois venue à l'esprit de plusieurs physiciens qui ne crurent pas devoir s'y arrêter, rappelé par un mot que l'imagination vaste, mais toujours réglée, de Laplace, avait lancé et retiré en même temps, écrasé par les calculs de

M. Élie de Beaumont, qui, ainsi que tout le monde le sait, par un Mémoire qui est devenu un des points de départ de la

Poisson, a été entre autres plus ou moins longuement développé par K.-F. Klöden de Berlin et par M. Frédéric Klee, de Copenhague. M. Klee, dans son *Déluge* (publié en danois en 1842, en allemand en 1843, et plus tard en français), admet une sorte de chaleur interne de notre globe; mais il suppose que « son centre est occupé par un » noyau solide...; » que « l'écorce ne repose pas immédiatement sur ce » noyau, mais qu'elle forme autour de lui comme une voûte semblable » aux nuages qui voguent dans l'atmosphère....; » que « des feux sous-terrains occupent les grandes cavités intermédiaires. » Suivant cet auteur, tous les changements qui ont eu lieu à la surface de la terre sont dus à des déplacements d'axe qui ont pu se répéter nombre de fois, ou, en d'autres termes, à l'antagonisme de la *force centrifuge* et de la *force centripète*. Le soulèvement des grandes chaînes de montagnes et des hauts-plateaux des continents n'aurait lieu que par l'effet de la première, lors de l'établissement d'un nouvel équateur et en sa proximité. Son grand déluge universel a été causé par le dernier déplacement d'axe, dont M. Klee parvient à déterminer l'étendue de 90° , et toutes les circonstances les plus détaillées. Ce grand phénomène a dû avoir lieu après que l'homme était déjà répandu sur la terre, et plusieurs nations ont pu échapper au désastre, bien que ce cataclisme ait eu la puissance de donner aux continents une forme toute nouvelle, et de creuser tous les golfes et les mers méditerranéennes, y compris l'Atlantique, entre le Groenland et la Norvège. La variation périodique de l'axe actuel sur son orbite, variation évaluée par Laplace à environ $4\frac{1}{2}^\circ$, et dont la cause, due à l'action perturbatrice du soleil et de la lune sur les couches matérielles accumulées autour de l'équateur terrestre (ménisque équatorial), est, depuis Newton, parfaitement connue en astronomie, ne résulterait que des dernières oscillations qui affectent encore l'axe déplacé. La cause des changements d'axe lui est inconnue; il ne la recherche pas; il ne veut point bâtir de nouvelles hypothèses. *Les changements d'axe sont un fait incontestable.* Cette idée s'est tellement emparée de M. Klee, qu'il va jusqu'à immoler la théorie de Laplace pour le cas où il serait reconnu qu'elle ne peut pas s'accorder avec son système. Les relèvements et abaissements qui ont lieu aujourd'hui à la surface de la terre sont dus à la force expansive du feu intérieur, qui tend à dilater généralement l'écorce du globe, « de même » qu'un gaz emprisonné dans un ballon en gonfle également toutes les » parties. » M. Klee développe ces idées dans un volume in-8, et il les appuie sur une foule d'assertions plus ou moins exactes, et de données historiques qu'il serait ici déplacé de discuter.

La même idée fondamentale du changement de l'axe du globe a été reproduite, dans ces derniers temps, par M. de Boucheporn, dans ses *Études sur l'histoire de la terre* (Paris, 1844); ses opinions sont entées sur cette idée, à l'appui de laquelle il fait intervenir la comète hypothétique de Halley et de Buffon, et qu'il cherche à prouver par

science (1), a, le premier, appelé l'attention sur l'ensemble de ces phénomènes; qui, le premier, a su rapporter au grand livre des lois éternelles les jalons que ses devanciers avaient fixés sur la route, a dû chercher à se rendre compte des causes générales qui ont entraîné la manifestation d'effets d'une régularité aussi surprenante sur la surface de la terre. D'après ce savant, il y a eu pour notre planète, et pour tous les corps célestes en général, une première période où, après la liquéfaction des substances formant la plus grande partie des nébuleuses originaires, une solidification

le parallélisme de M. de Beaumont. M. de Boucheporn admet, lui aussi, un noyau solide, une couche intermédiaire qu'il suppose en état de fusion, puis l'écorce. Pour lui, il n'est pas certain que la chaleur du globe soit centrale ni originaire; elle a pu être produite à la surface par des agents chimiques, et n'être que partielle. Dans sa longue dissertation, il développe le théorème que toutes les inégalités du globe ne seraient dues qu'aux ridements parallèles engendrés à plusieurs reprises, à de grands intervalles, et suivant des directions différentes sur l'écorce flottante, par le choc de comètes qui auraient causé chaque fois un nouveau déplacement de l'axe terrestre. Il trouve dans la disposition des principales chaînes de montagnes, la preuve de l'existence d'autant d'équateurs successifs.

Tous ces systèmes, qui ne sont pas fondés sur la recherche des faits ou qui reposent sur une appréciation incomplète et inexacte de ces mêmes faits, ne soutiennent pas un seul moment l'examen de l'observateur; quelque talent que l'on apporte à leur défense, ils se ressentiront toujours de leur origine. Ni les divagations savantes de M. de Boucheporn, ni les rêveries lourdement enfantées de M. Klee, ne sauraient affaiblir le moins du monde tout ce qu'ils ont d'inadmissible et de paradoxal. La régularité du mouvement de notre satellite et des lois qui régissent tout le système solaire, s'oppose irrémissiblement à de telles suppositions; et, pour employer le mot d'un savant illustre, *il serait aussi absurde* d'admettre que des chocs ont altéré ce système, que de les supposer à l'égard d'un chronomètre parfaitement réglé. C'est bien là le cas de dire, avec M. d'Omalus d'Halloy, que « les hypothèses sont à la géologie ce que les mauvais romans sont à la littérature. »

(1) *Ann. des sciences naturelles*, t. XVIII.

Pour se faire une idée de ce qu'était la science avant que les nouvelles théories fussent venues y répandre la lumière, il suffit de lire les paroles qu'un wernérien modéré imprimait dans le seul traité français classique qui existât en 1820, et que M. Desnoyers cite dans son rapport sur les travaux de la Société pour 1831. On y lit : « Que la présence des corps marins sur les hautes montagnes est bien plus facilement explicable par le soulèvement des eaux mobiles de l'Océan, que par le redressement des masses minérales inertes et immobiles. »

partielle de ces mêmes matières a commencé à la surface. Cette première pellicule de cristallisation a dû se former à peu près partout dans le même temps. L'influence de la chaleur solaire ne pouvant être bien considérable à une époque où la température intrinsèque du globe était aussi élevée, les mouvements atmosphériques ont dû être également faibles ; de là l'absence de grands courants équatoriaux , qui , sans cela, auraient pu retarder la fixation des molécules fluides entre les tropiques. Pendant un certain laps de temps , le refroidissement de la pellicule terrestre ayant lieu rapidement , et ce temps a dû être assez long , sa contraction a dû être plus grande que celle de l'intérieur (1). De là de nombreux fendillements et des crevasses dans cette pellicule qui , brisée , tourmentée de mille manières par les pressions variables et les vents d'une atmosphère chargée des vapeurs les plus pesantes (2), par les marées de cette mer ignée universelle , a dû donner passage , à tout moment , à des épanchements de la matière intérieure, et a dû être exposée souvent à être redissoute au moins en partie. Mais il est arrivé un point où la contraction de l'écorce solide a dû équivaloir à peu près à la diminution de volume des couches liquides qui se figeaient (3). L'action des marées générales ne dut plus être aussi sensible sur la croûte solidifiée ; l'atmosphère s'épura de ses vapeurs les plus lourdes ; la grande masse des eaux a pu se condenser à la surface. Cependant , l'influence du noyau incandescent était encore assez grande pour réagir sur la partie inférieure des dépôts qui se faisaient au fond des mers ; il se pro-

(1) M. Élie de Beaumont , en s'appuyant sur les observations thermométriques souterraines d'Arago et sur les formules trouvées par Poisson et par Fourier, est arrivé par des calculs aussi simples qu'ingénieux au résultat approximatif, il est vrai, mais pourtant remarquable, qu'à dater de la solidification de la première pellicule terrestre, le refroidissement annuel de la surface du globe a dû être, pendant environ trente-huit mille ans, plus grand que celui de sa masse totale; et qu'à dater de cette époque le refroidissement moyen annuel de la terre a dû surpasser celui de la surface et qu'il le surpasse de plus en plus. (*Comptes-rendus des séances de l'Acad. des sc.*, t. XIX, séance du 16 déc. 1844). — Voyez encore les expériences de M. G. Bischof, à Bonn (*Neues Jahrbuch für Min.*, etc., 1844.)

(2) Voyez l'élégante *Exposition de l'ensemble des phénomènes qui se sont manifestés à la surface du globe*, par M. le vicomte d'Archiac. Paris, 1840, p. 42.

(3) Comparez ce qu'en dit M. Angelot (*Bull. géol.*, t. XIV, p. 54; 1842).

duisait des couches cristallines par *métamorphisme normal* (1). Les inégalités du sol à l'extérieur n'étaient pas très considérables; de nombreuses terres basses seulement ont dû fournir matière

(1) Voyez, pour ce qui regarde ce genre de métamorphisme, les leçons à l'École des mines de M. Élie de Beaumont (traduction allemande de M. Vogt; Brunswick, 1846), qui en 1833 en exposait la théorie au Collège de France, et les notes intéressantes de M. Virlet, consignées dans le *Bulletin* de notre Société pour 1837 (séance du 19 juin), ainsi que dans celui de cette année (séance du 15 février). J'admets, avec M. de Beaumont et M. Virlet, le métamorphisme normal des formations dites primitives de la Suède, tel que M. Murchison paraît l'avoir compris, et que notre confrère vient de l'adopter dans sa dernière note. Seulement, je dois le dire, je ne saurais le suivre dans l'application du même phénomène à la plupart des granites, et notamment à ceux de la Bretagne. Au surplus, je dois noter qu'il y a loin de ce genre de métamorphisme qui a dû modifier les dépôts les plus anciens, à ces idées singulières qui ont porté M. Keferstein et d'autres savants même très distingués, mais trop préoccupés des conditions chimiques de la terre, à admettre la transformation *morphologique* des grès rouges en porphyres, ou des schistes en granites, par la seule influence des réactions moléculaires inhérentes à ces roches.

La question de savoir quelle est la nature de la stratification des roches cristallines se rattache à celle-ci. Depuis que les principes de Werner, qui les considérait comme un dépôt aqueux, ont été définitivement mis de côté, on a beaucoup discuté sur ces roches. M. Lyell, qui a là-dessus presque exclusivement suivi les idées de Hutton, s'arrête à l'action métamorphique qui aurait transformé et continuerait de transformer peu à peu en gneiss et en granites les débris de matériaux sédimentaires préexistants, stratifiés au fond des mers et enfouis à de grandes profondeurs. D'autres géologues, et parmi ceux-ci des savants du Nord très distingués, n'ont pas regardé comme étant une véritable stratification les divisions des schistes appelés primitifs, tels que ceux de la Scandinavie, et les alternances qu'ils présentent dans leur nature minéralogique; ils ont même adopté l'opinion que ces apparences d'une stratification souvent très marquée et fortement inclinée ou presque verticale, n'étaient dues, ainsi que la formation des granites qui en maints endroits sont enclavés dans les mêmes schistes, qu'à des actions moléculaires et chimiques. D'autres encore ont rejeté en totalité ou en partie l'idée d'un métamorphisme normal, et se sont attachés à expliquer la stratification de ces dépôts « azoïques », soit au moyen d'un *laminage* lors de l'éruption des granites, soit par un procédé de *dépôt chimique*, ou par l'effet des *attractions spécifiques* combiné avec celui de la *densité* des substances composantes qui se précipitaient au milieu d'un bain igné.

Vouloir étendre à l'infini la répétition des transformations sous le prétexte de s'attacher aux causes actuelles, ce serait une manière bien

aux sédiments qui se formèrent dans ce temps. L'étendue des dépôts primaires, telle qu'elle nous a été démontrée par les grands voyages d'un de nos plus savants confrères (1), est une preuve que les mers occupaient de vastes espaces. C'est alors qu'a commencé le régime actuel pour le globe que nous habitons; la tranquillité venant à régner sur la terre, la vie organique a pu s'y développer. A dater de ce point, la contraction de l'écorce solidifiée, dont les dernières limites du refroidissement (2) n'avaient plus lieu qu'avec une extrême lenteur, ne suffit plus à balancer la diminution progressive du volume du noyau liquide (3), dont la masse était d'ailleurs continuellement réduite par l'enlè-

étroite d'envisager l'action des forces physiques qui, variables dans leurs effets, ne se modifient aucunement dans leur essence, et restent, en ce sens, toujours actuelles. Sans méconnaître donc qu'il doit y avoir eu du granite véritablement primitif, résultat de la coagulation de la première pellicule, et qu'il peut y avoir eu une sorte de schistes cristallins également primitifs, résultant de l'action des marées et des courants du bain igné au moment de la solidification, nous sommes convaincus que la plupart des roches dites primitives, autres que les granites ou leurs analogues, présentent les traces d'une véritable stratification, et qu'elles sont, ainsi que certains granites, etc., qui y sont renfermés, d'origine métamorphique normale. Car il est difficile de concevoir que les dépôts réellement primitifs aient pu se conserver, sans se fondre, dans les profondeurs où ils étaient recouverts par les couches plus récentes, lorsque nous voyons la transformation en micaschistes et en gneiss de roches qui ne sont pas plus anciennes que les terrains jurassiques. Ce cas peut exister, nous ne le nions pas, mais la manière d'être de la plupart des dépôts primitifs, de ceux de la Scandinavie, par exemple, nous porte à douter qu'il ait réellement lieu.

Quant aux gneiss qui renferment des fragments de roches étrangères, et aux gneiss formant des filons, ils ne peuvent entrer dans les catégories des roches primitives ou métamorphiques; leur origine plutonienne, et leur éruption postérieure au dépôt des terrains qu'ils traversent ne saurait être sujette à contestations; leur structure peut très bien être due à ce qu'on a appelé le *laminage* des roches ignées.

(1) Édouard de Verneuil, *Voyages dans la Russie d'Europe et dans l'Amérique du Nord*.

(2) D'après Fourier, l'effet thermométrique actuel de la chaleur centrale à la surface n'est que de $\frac{1}{30}$ de degré; d'après Poisson, il est encore moindre. La surface des laves se refroidit extrêmement vite, et elle reste alors dans un état de température à peu près stationnaire; tandis que, à quelques pieds seulement de profondeur, la roche continue d'être fondue, et elle ne se refroidit qu'avec une lenteur extrême.

(3) La dilatation linéaire des solides diffère peu de $\frac{1}{1000}$, tandis que celle de l'eau est de $\frac{16}{1000}$.

vement des couches extérieures qui se solidifiaient. Le noyau liquide devenait trop petit pour remplir son écorce, tant que sa forme serait restée celle du sphéroïde primitif. Il a donc dû y avoir pour le globe une tendance constante à s'éloigner de cette forme. L'accélération de rotation produite par la diminution du diamètre de la terre ne pouvait à elle seule donner lieu à une diminution de capacité (1); sa croûte étant loin de présenter une rigidité absolue, ne pouvait permettre qu'il se formât des vides; elle n'aurait pu se soutenir un seul instant sans surnager sur le bain qui la supportait. Or, à mesure que le niveau de celui-ci s'abaissait, il a dû en résulter entre les différentes pièces de la voûte solide une pression latérale énorme tendant à en faire sortir les parties les plus faibles, de la même manière que nous voyons des voussoirs d'anciens ponts en plein cintre, poussés en dehors par la pression des côtés surchargés. Mais un bombement qui se fait de cette manière peu à peu sur un seul point de la surface, ne saurait produire une diminution de capacité de l'écorce. Pour qu'au contraire cette capacité n'en soit pas augmentée, il faut que le bossèlement se fasse, soit tout autour et parallèlement à un grand cercle de la sphère, soit au moins sur toute la longueur d'une moitié de la surface de notre globe; le bossèlement sera alors compris entre deux grands cercles qui, dans un cas donné, pourront être deux demi-méridiens. Que ce soit l'un ou l'autre de ces phénomènes qui s'accomplit, il n'en suivra pas moins l'affaissement graduel et général des deux grands hémisphères latéraux, dans le premier cas; de tout le reste de l'enveloppe, à l'exception de l'espèce de *côte de melon* ou de *fuseau* en bas-relief qui se soulève, dans le second. Les diamètres, dont les extrémités viennent aboutir à une grande zone qui parcourt tout autour la surface de la terre, auront été allongés dans l'un des cas aux dépens de tous les autres; ce seront, dans l'autre cas, les rayons qui aboutissent au fuseau de soulèvement qui auront subi un allongement analogue. Le *soulèvement zonal* parcourant toute la circonférence du

(1) M. Élie de Beaumont qui, on peut le dire, n'a oublié aucune des questions qui peuvent intéresser la géogénie, a fait des calculs qui, d'après le principe des aires, prouvent que si l'on suppose la croûte suffisamment solide pour se soutenir, le sphéroïde qui se formera à l'intérieur par le refroidissement, dont le mouvement sera plus accéléré, et qui sera par conséquent plus aplati, ne peut être en aucun point tangent à la surface inférieure de la croûte primitive. Il s'en approchera davantage à l'équateur qu'aux pôles, mais il ne le touchera point.

sphéroïde, sa seule action suffira à conserver l'équilibre entre la croûte et le noyau. Les deux calottes s'affaisseront tranquillement. Mais pour que ce genre de soulèvement se fasse, il faut une énorme puissance de pression. Le *soulèvement par côte de melon*, tel que l'entend M. Élie de Beaumont, est plus concentré, il exige une dépense bien moins considérable de force vive, et se trouve être plus en rapport avec les faits que l'on observe sur la surface de notre globe; mais dans ce cas le reste de la croûte ne peut s'affaisser qu'en se déformant, quoique très légèrement (1). Il ne pourrait s'effectuer si la croûte n'était pas aussi incohérente et peu rigide qu'elle l'est en effet (2).

(1) Il est important de remarquer que ces changements de forme sont si petits qu'ils ne sauraient avoir aucune influence appréciable sur les révolutions régulières et sensiblement constantes du globe, et qu'ils ne pourraient produire que des oscillations tout à fait minimales de son axe dans l'espace, oscillations incapables d'aucune action sur la répartition des climats.

(2) Notre savant secrétaire, M. Le Blanc, a cité un fait qui prouve, jusqu'à l'évidence, la nécessité de cette marche des choses pendant le refroidissement d'un corps fondu : « Quand on coule de grosses pièces » en fonte, comme des canons, dit-il, on établit les moules verticalement; on coule une surcharge considérable de matière fondue, et » malgré cela on évite rarement les vides ou chambres qui se forment » dans l'intérieur de la pièce. On a souvent attribué ces vides à des » bulles d'air; nous pensons que la cause qui les reproduit d'une manière si constante est le refroidissement subit de la croûte, accompagné d'un refroidissement plus lent de l'intérieur... Quand on coupe » une balle de fusil, on trouve toujours dans son intérieur un petit » vide qui n'est pas souvent à son centre de figure. Ce fait, qui nuit à » la justesse du tir, a été vérifié à l'arsenal de Metz sur 1,800 balles, » sans qu'on y ait trouvé une seule exception. » (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XII, p. 140.)

Ce vide intérieur, dernier résultat de la solidification d'une masse liquide, et qui, dans les balles de plomb, est excentrique, lenticulaire, et opposé à la direction de la gravité au moment de leur solidification, remplacera probablement tôt ou tard la partie centrale de notre globe, et il sera sphérique. D'ici là, il arrivera même un phénomène assez curieux, et que M. Angelot a analysé avec une grande puissance de logique (*Bull.*, 1^{re} série; t. XIII, p. 248). Tant que la croûte de notre globe conservera encore une certaine souplesse, et les changements de niveau actuels nous montrent que nous sommes encore dans ce cas, elle ne discontinuera de s'adapter à son noyau; mais, » quand elle aura atteint une épaisseur suffisante pour ne plus s'écrouler, dit M. Angelot, il devra se former une chambre concentrique » complète dans laquelle il se fera une nouvelle sphère solide. Un phé-

Cette action de bossèlement a dû être lente , extrêmement lente même à l'origine ; mais la rapidité de sa progression a dû s'accroître à mesure que le bombement devenant plus considérable , et cette partie de la croûte se trouvant de plus en plus éloignée du centre de la terre et poussée en dehors du niveau moyen de sa surface , la résistance de la zone ou de la côte bombée par rapport aux deux calottes latérales venait à diminuer. Il a même dû arriver un instant où , la progression de rapidité dans le mouvement ainsi accéléré étant parvenue à sa dernière limite , la partie bosselée de l'écorce qui n'était plus en état de résister , a dû se briser en plusieurs points. La masse fluide intérieure pressée par le poids des deux moitiés de la voûte qui s'affaissait , soumise aux lois d'égalité de pression des liquides , a dû exercer à son tour des efforts puissants sur ces points de moindre résistance , et contribuer , par son émergence , au bouleversement des parties avoisinantes , jusqu'à ce que les colonnes ignées balançant par leur hauteur la pression générale , n'eussent pu rétablir l'équilibre momentanément dérangé. C'est ainsi que , lorsque la pression intérieure agissait puissamment sur les deux côtés d'une longue fente , il se formait de grandes chaînes de montagnes ; et que , lorsqu'au contraire les effets de cette pression limités par une disposition particulière des parties de l'écorce solide , ne portaient que sur des points isolés , il se faisait des cirques ; ou qu'après un écroulement plus ou moins partiel de la partie relevée , il en résultait ces cratères de soulèvement sur lesquels M. de Buch a le premier appelé l'attention des géologues (1).

» nomène semblable pourra se reproduire dans cette nouvelle sphère ,
 » une ou plusieurs fois , jusqu'à la solidification totale , qui pourra
 » peut-être produire , au sein de cette dernière sphère solide , une pe-
 » tite chambre centrale. » Que feront , pendant ce temps , les gaz qui se dégagent constamment pendant le refroidissement ?

(1) C'est là ce qu'on a appelé la théorie des *soulèvements*. M. de Buch avait donné une forme pratique aux indications de plusieurs anciens savants lorsqu'il a attribué aux mélaphyres le soulèvement des terrains alpins ; il était réservé à ses successeurs de développer cette idée , d'en tirer une théorie et de la pousser aux dernières conséquences.

On parlait encore , il y a quelque temps , d'une théorie des *affaissements*. C'est la théorie de De Luc. De Luc faisait enfoncer toutes les plaines pour ne maintenir au même niveau que les arêtes des montagnes ; des cavités intérieures auraient absorbé les eaux surabondantes de l'Océan. L'espace occupé par les montagnes n'étant guère , d'après Humboldt , qu'environ le centième de la surface des continents , et les arêtes étant encore une parcelle infiniment petite de l'étendue du

De là deux états différents dans la vie de notre globe : 1^o des pé-

pays montueux, on voit quels bouleversements supposait cette hypothèse. On a voulu, plus tard, reproduire cette théorie, en admettant toutefois la contraction du noyau de la terre. J'ai lu attentivement ce qu'il en est dit dans le *Bulletin* de la Société, t. XI, p. 183, et ce n'a pas été sans étonnement, je dois le dire, que j'y ai vu, confondus dans un anathème commun, le principe des soulèvements des chaînes de montagnes, la théorie des cratères de soulèvement ou d'enfoncement (ce qui revient au même) produits par la force des gaz, et troisièmement les idées sur lesquelles Hopkins a fondé ses calculs; trois choses qui n'ont rien de commun. Aujourd'hui, ces malentendus se sont éclaircis, et je suis heureux de constater qu'entre le savant défenseur des affaissements et les géologues qui ont adopté la théorie des soulèvements, il n'y a plus aucune différence d'opinion. Dès qu'on reconnaît que la grande partie de l'écorce qui s'affaisse ne peut exécuter ce déplacement qu'à la condition qu'il y ait un mouvement de bascule, et qu'une autre partie se soulève, il n'y a plus de diversité entre les deux théories. Seulement, puisque les soulèvements, en raison de l'espace restreint qu'ils occupent, sont beaucoup plus appréciables que l'affaissement, et que d'ailleurs l'affaissement ne peut avoir lieu que par suite du soulèvement, on permettra que je continue d'appeler les mouvements généraux de l'écorce, des *soulèvements*.

Quant aux cratères de soulèvement, oh ! là on est encore bien loin de s'entendre, du moins en apparence. On a assez mis en doute l'existence de ces cratères. Les uns ont attaqué l'ensemble de la théorie du célèbre géologue prussien; les autres, tout en admettant cette théorie dans son principe, ont contesté les faits particuliers qui en avaient été cités comme exemples. D'autres encore ont prétendu qu'il y avait bien des soulèvements cratériformes dans les terrains schisteux, mais qu'il ne s'en était point produit dans le sol volcanique. Quelle que puisse être ma conviction, après la lecture du grand et beau Mémoire de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, sur le Cantal (*Ann. des mines*, 1833), et de leur réponse aux objections qu'on leur avait faites (réponse de M. Dufrénoy dans le procès-verbal de la séance de la Société géologique de France, 10 juin 1833; Mémoire de M. de Beaumont, lu à la séance du 17 février 1834), ainsi que de leurs Mémoires sur le Vésuve et sur l'Etna; n'ayant pas étudié les localités mises en discussion, je dois me tenir dans la plus complète réserve sur les cas spéciaux. Je ne pourrais pourtant passer sous silence de combien de poids est pour moi l'opinion de M. de Waltershausen, qui, après avoir accompli son ouvrage monumental sur l'Etna, en avoir levé une carte topographique, comme il n'en existe pas une seconde, et avoir consacré exclusivement à l'étude de cette montagne huit années de sa vie, et qui, après avoir couronné toutes ces recherches par la visite des autres volcans du Midi et par un grand voyage en Islande, vient d'écrire à l'Académie, en lui envoyant son ouvrage magnifique, que : « Ses vues sur la formation » et la structure des volcans, et spécialement pour ce qui regarde leur

riodes de tranquillité correspondantes à ce bossèlement, à ce soulè-

» soulèvement, coïncident dans tous les points essentiels avec celles de » M. Élie de Beaumont (*Mém. sur l'Etna*); résultat d'autant plus décisif, » qu'il n'y est point arrivé, dit-il, par suite de discussions abstraites, » mais qu'il l'a déduit directement d'observations consciencieuses pour- » suivies sur la nature même pendant plusieurs années. » Mais qu'il me soit permis d'exprimer combien il m'est difficile de concevoir que cette théorie ait pu devenir l'objet de tant d'attaques. D'abord je ne saurais comprendre des éruptions volcaniques qui se feraient jour tout à coup du milieu d'une grande plaine, sans déranger le moins du monde les couches environnantes. Ensuite, ou il faut nier toute espèce de soulèvement et en venir aux idées de M. de Montlosier, qui, en 1832, affirmait encore « que les Alpes, et en général les groupes de montagnes, » ne sont que des continents élevés et à pente douce, déchirés par un » précipité tombé du haut de l'atmosphère dans leur milieu; » ou bien il faut admettre que, s'il y a eu des soulèvements longitudinaux, il peut y avoir eu également des soulèvements par cirques. Or, s'il a pu y avoir des soulèvements par cirques dans les terrains cristallins et schisteux, pourquoi ne doit-il pas y en avoir eu dans les terrains volcaniques? Je dirai plus; d'après les conditions qui sont nécessaires pour qu'il se fasse un soulèvement circulaire, et qui consistent dans l'égalité de résistance de la surface, au-dessus du point comprimé, il est évident que ce genre de soulèvement a dû surtout avoir lieu là où des couches d'épanchement uniformes et multipliées présentaient à un haut degré cette condition voulue; car il ne faudrait pas s'imaginer, comme on l'a cru parfois, que ce fût toujours l'épaisseur totale de l'écorce de la terre qui a été déplacée lors de la formation d'un soulèvement circulaire; ce cas n'est arrivé que pour des cirques où des masses ignées considérables ont été poussées de l'intérieur à un état plus ou moins solide. Dans toutes les autres circonstances, et pour les terrains volcaniques en particulier, il est très probable, ainsi que M. Élie de Beaumont l'a fait remarquer, que des matières liquides aient pénétré par des fentes jusqu'au-dessous des couches les plus superficielles, qui seules ont subi le redressement. Supposons, par exemple, qu'un effort se fasse par la matière intérieure au-dessous d'un point où se trouvent des basaltes en couches étendues et horizontales; la matière fondue remontera jusqu'au-dessous de ces couches unies, par les fentes résultant du retrait du dicke qui, s'étant refroidi plus tard que le chapeau de la nappe basaltique, n'avaient pu être remplies après coup par en haut; cette matière, arrivée devant l'obstacle, s'y amassera comme un champignon, commencera à le soulever, et, après s'être introduite entre les couches supérieures et les inférieures, laissera retomber les premières au milieu, par cela même qu'elle aura trouvé une autre issue.

Quant à la question de savoir si c'est à la pression générale de l'écorce, agent ordinaire des soulèvements, qu'on doit attribuer la formation de ces cirques cratériformes, ou bien à toute autre puissance agissant sur un point de sa partie inférieure, elle ne me paraît pas fa-

vement lent d'une zone circulaire ou d'une côte de mélon, et que plus

cile à résoudre pour les cas particuliers. En général, la disposition des volcans sur les grandes lignes de soulèvement porterait à croire qu'ils se sont formés au commencement de l'époque à laquelle ils appartiennent, et qu'ils ont profité des soupiraux que les ruptures qui l'ont immédiatement précédée avaient établis à travers la croûte terrestre. A cet égard, M. Élie de Beaumont a fait remarquer non seulement que la plupart des volcans sont disposés suivant les grandes lignes de soulèvement, et surtout à la limite de deux grandes plaines de hauteurs différentes; mais que le pic de Ténériffe et l'Etna se trouvent précisément dans la prolongation des deux extrémités de la chaîne de l'Atlas, et que le second occupe le point de croisement de la direction de cette chaîne avec celle des soulèvements du Ténare, dans lesquels renterait le Vésuve; tandis que, d'autre part, quelques observateurs distingués sont portés à croire que les cratères de l'Auvergne se trouvent sur de semblables croisements. Rien cependant ne s'oppose à ce que des gaz accumulés sous un point donné de l'écorce, où des fentes les conduisaient jusqu'auprès de la surface du sol, aient pu parfois vaincre sa résistance et produire, sur une échelle plus grande, ce que M. Pilla a vu s'accomplir en petit, sous ses propres yeux, au milieu du cratère du Vésuve, en 1834 (*Mém. de la Soc. géol. de Fr.*, t. I, 2^e série, p. 176).

Les phénomènes de toute espèce que l'on observe auprès des volcans et en mille autres endroits différents, les recherches de tant de savants sur les causes des propriétés des eaux minérales, celles surtout de M. Scheerer (*Bull. géol.*, février 1847), qui prouvent que l'eau a été de tous temps combinée à l'état basique avec les roches incandescentes, sont des faits bien propres à faire attribuer à l'action des gaz et des vapeurs l'éruption des laves actuelles. Or, si des gaz, trouvant toujours une issue toute prête à mesure qu'ils arrivent, sont capables d'élever des colonnes de laves de plusieurs milliers de mètres au-dessus du niveau moyen de la surface, quelle ne doit pas être leur puissance lorsque, faute d'un soupirail, ils sont forcés de s'accumuler et de se comprimer! Les malheurs sans nombre qu'on a déjà eus à déplorer et qui sont dus à des explosions par la force de la vapeur à une haute température, ne nous avertissent-ils pas assez de la puissance de cette force si redoutable? Les faits historiques, tels que le célèbre soulèvement du Jorullo rapporté par Humboldt, etc., admettent-ils aucune réplique sérieuse? car il ne suffit pas de faire semblant d'ignorer la chose, et de dire que ce sont des laves accumulées, comme l'a fait M. Lyell (*Élém. de géol.*, trad. française; Paris, 1839).

M. Élie de Beaumont a comparé l'action volcanique à celle du vin de Champagne, qui se répand en dehors d'un goulot par la force expansive de l'acide carbonique qui le fait mousser; cette propriété des gaz a été mise à profit dans ces derniers temps dans une saline de l'Allemagne, où l'on exploite le sel gemme par dissolution; on y est parvenu à effectuer une grande économie de force motrice en remplaçant les pompes à eau par des pompes soufflantes; l'air introduit jusqu'au fond des

tard M. de Waltershausen a appelé *soulèvement séculaire* (1). Dans ces périodes, espaces de temps analogues à celui où nous vivons, des causes semblables produisaient des effets pareils à ceux que nous pouvons observer de nos jours. Une plus grande puissance des agents chimiques, et les influences météorologiques modifiées, surtout dans les premiers temps, par la plus grande uniformité d'une température plus élevée, par la composition des eaux et de l'atmosphère de l'époque, par la disposition des mers et des continents, par l'existence probable d'une plus grande quantité de sources minérales et thermales, ont dû seules y apporter quelque

sondages au moyen de tuyaux, suffit, dans son ascension par bulles, à diminuer tellement le poids de la colonne liquide, qu'elle remonte bien au-dessus de son niveau naturel, et peut ainsi arriver aux canaux d'écoulement.

Les produits laviques actuels laissent échapper une énorme quantité de gaz et de vapeurs. En Auvergne, les basaltes modernes présentent plus de traces de gaz que les basaltes anciens. Les trachytes ont des scories; les porphyres, très rarement; les granites, jamais. Ainsi beaucoup de gaz accompagnent les éruptions modernes, très peu ou point les anciennes. Ce n'est pas une simple différence de nature dans les produits de diverses couches concentriques du globe que nous avons à considérer; ce sont, d'un côté, des substances avec des gaz; de l'autre, des substances sans gaz. Cette idée, qu'on trouve consignée dans le Mémoire sur le Cantal de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy (*Ann. des mines*, 3^e série, t. III, p. 568, 1833) explique jusqu'à un certain point pourquoi les volcans de nos jours forment une communication permanente entre l'intérieur de la terre et sa surface, tandis que les éruptions anciennes n'étaient que temporaires. Lors de l'abaissement de température, les gaz des couches extérieures n'étant pas soumis à de grandes pressions, se sont dégagés avant la solidification de la pellicule la plus superficielle. Dans les couches plus profondes, ils ont été retenus par la pression, et n'ont pu commencer à se dégager que lorsque ces couches étaient arrivées à une température beaucoup plus basse. Tant que la solidification s'est limitée aux couches supérieures, il n'y a pas eu de dégagement; les roches qui en dériveraient ne pouvaient renfermer de vapeurs. Plus tard, la solidification a atteint les couches à gaz, ils se sont alors dégagés. C'est le même phénomène que celui de la végétation de l'argent observé par Gay-Lussac: tant que ce n'est que la croûte qui se solidifie, il n'y a pas d'éruption; mais lorsque la solidification atteint l'intérieur de la masse, alors on voit le phénomène. Si la terre n'avait pas eu d'autres causes de dérangement, les éruptions de l'intérieur n'auraient commencé qu'avec les volcans.

(1) *Ueber die submarinen vulkanischen Ausbrücke des Val di Noto, Goettinger Studien*; 1845.

différence, et réagir surtout puissamment sur la vie des végétaux et des animaux, en leur imprimant en général un cachet de contemporanéité respective (1); 2° des *époques d'agitation*, moments de soulèvement brusque et de *rupture*, marqués par l'arrivée des matières intérieures à la surface. Des émanations nombreuses de vapeurs très variées ont signalé ces époques (2). Il en est résulté la destruction et l'altération partielle des anciennes roches, et la production de nouvelles, par *métamorphisme anormal* (3) sur plu-

(1) Lorsqu'une certaine forme d'organisation pour s'accommoder aux nouvelles conditions ambiantes a subi toutes les modifications dont elle porte les germes et dont elle est capable, si le milieu où elle vit continue de s'altérer, elle périt, elle cesse d'exister; une nouvelle forme vient la remplacer. « Il n'y a de créations possibles, dit Geoffroy, qu'en raison de l'essence et selon la nature des éléments ambiants qui s'organisent en eux. A chaque cycle géologique, ces éléments se sont plus ou moins modifiés, et alors ce sont autant de formes qui varient dans une même raison. » (*Principes de philosophie zoologique*; Paris, 1830.)

Combien de fois ce changement aura-t-il encore lieu avant que l'existence de toute organisation soit devenue impossible sur la terre?

(2) Voyez le Mémoire de M. Angelot sur les causes des émanations gazeuses provenant de l'intérieur du globe (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XIII, p. 178; 1842), où l'auteur, s'appuyant sur des arguments irrécusables, établit l'absorption primitive des gaz et des vapeurs par les matières liquides incandescentes, et leur dégagement progressif de toutes les parties de la masse, en raison de l'abaissement de température, ainsi qu'il arrive lors du refroidissement des laves. La cause de la volcanicité actuelle n'est encore, pour nous, que la continuation de ce même phénomène pendant notre période de tranquillité.

M. Angelot émet également sur la formation des filons métallifères une hypothèse qui, comme tout ce qui sort de la plume de ce savant éclairé, est empreinte d'un véritable sentiment scientifique; en se fondant sur la densité supérieure des parties centrales de la terre, densité qui, en supposant le globe partagé en trois couches concentriques donnerait, pour la plus inférieure, une pesanteur spécifique de 48,89, il admet qu'au moyen de l'espèce d'ébullition qui doit résulter des gaz qui s'échappent jusque des parties les plus profondes, de faibles traces des métaux les plus pesants peuvent être entraînées à l'état liquide des profondeurs où les relève leur densité; la température de ces métaux serait tellement élevée, qu'arrivés subitement à des couches où ils sont soumis à une pression moindre, ils se subliment et vont s'y déposer.

Voyez encore, pour la théorie des filons métallifères, la géologie de d'Aubuisson et les mémoires si pratiques et si importants de M. Burat sur les filons de la Toscane, de l'Allemagne et de l'Algérie.

(3) L'idée et les premiers développements de la théorie du méta-

sieurs points de la terre ; un changement plus ou moins considérable des propriétés des eaux et de l'atmosphère ; des modifications correspondantes dans l'organisme des animaux et des plantes. Une partie de la surface terrestre avait été dévastée ; les eaux de la mer, déplacées rapidement pendant le mouvement accéléré qui avait précédé la rupture, ou lancées violemment pendant cette rupture elle-même , s'étaient changées en courants et en vagues énormes qui l'ont partiellement rasée et ravinée (1), et qui ont amené au loin ces matières dont l'immensité des dépôts a bien souvent exercé la raison ou l'imagination des géologues. La nature s'était rajeunie par le contact de nouveaux éléments ; après la fin du cataclisme , un jour plus beau recommença à briller sur la terre ; des forces nouvelles travaillèrent à la marche de l'univers.

La rupture achève d'établir l'équilibre de capacité ; elle n'est que la dernière expression du soulèvement séculaire. Le refroidis-

morphisme anormal sont dus à l'Italien Arduino et à l'école écossaise. Les ouvrages de Hutton et Playfair, de Mac-Culloch, etc., en sont pleins. M. de Buch, M. Boué, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, MM. de Collegno, P. Savi, Studer, G. Rose, etc., les ont appuyés plus tard par un nombre infini d'observations. M. Forchhammer a prouvé, par des analyses, l'identité chimique des schistes argileux et des gneiss de certaines parties de la Scandinavie (*Report on the influence of fucoidal Plants upon the Formations of the Earth, on Metamorphism in general, etc., by G. Forchhammer. — Rep. of the British association for the advancement of science for 1844*).

Cette espèce de métamorphisme a agi de deux manières : soit par un simple changement de température au moyen du contact des masses ignées, comme sur les calcaires transformés en marbres saccharoïdes, soit par l'action de cémentation des substances volatiles qui, comme nous venons de le voir, ont dû toujours accompagner les dislocations terrestres. C'est à ces dernières influences qu'est due l'origine des dépôts anormaux non organiques, tels que les gypses, les substances magnésiennes, la plupart des sels gemmes, etc.

(1) C'est là une des causes de formation des *diluviums* proprement dits, et la seule parmi ces causes qui ne se manifeste que dans les moments où les forces physiques du globe sont sur le point d'acquérir leur maximum d'effervescence. La délimitation exacte de ce qui dans le dépôt des terrains diluviens des différentes périodes, est dû à cette cause, ou bien aux agents ordinaires des forces physiques, l'action de l'atmosphère et des éléments qu'elle renferme, et l'action des eaux de la mer et des eaux continentales, liquides ou solides, pendant les périodes de tranquillité, constitue une des questions les plus importantes de la science. Malheureusement la substitution d'*agents fantastiques* aux *causes réelles et actuelles* a jeté dans ces derniers temps cette partie de la géologie dans une si déplorable confusion, qu'elle est à peu près encore à refaire.

sement étant progressif et continu, ce genre de soulèvement recommence de suite après le rétablissement de cet équilibre (1). Mais l'action qui s'est exercée a dû avoir pour effet de déformer légèrement le sphéroïde ; l'équilibre de capacité a été satisfait aux dépens de celui de la forme ; la direction du soulèvement qui va suivre sera déterminée par les conditions les plus propres à ramener le globe à ses dimensions normales. Que le soulèvement ait été zonal ou circonscrit entre deux demi-grands cercles, les diamètres des grands cercles qui lui sont perpendiculaires auront été raccourcis. Supposons un moment que la direction du soulèvement ait été parallèle à un méridien, ou bien qu'il se soit effectué dans l'espace compris entre deux demi-méridiens d'un même hémisphère ; il est évident que la circonférence de la terre aura diminué parallèlement à l'équateur, et que la croûte se trouvera être aux pôles à un niveau plus élevé que celui qui lui est propre par suite des lois de l'aplatissement. Il faudra donc que le prochain soulèvement se fasse de manière à allonger les diamètres de l'équateur et des petits cercles qui lui sont parallèles, par rapport à ceux des méridiens. Il en résultera un deuxième soulèvement se croisant à angle droit avec le premier.

Or, admettons que les bossèlements se sont toujours faits sous la forme d'une côte de melon, et que le premier se soit fait par le relèvement d'un demi-méridien. Pour satisfaire aux conditions que nous venons d'indiquer, le second devra venir se placer en croix avec celui qui a eu lieu, et à peu de distance de l'équateur. Il coupera perpendiculairement les cercles méridiens ; mais sa position plus précise dans l'immense zone limitée par les tropiques, sera déterminée par les points de moindre résistance ; la côte de soulèvement pourra se trouver dans la demi-zone torride septentrionale, ou dans sa pareille du Sud ; ce deuxième bombement pourra commencer à se développer sous le méridien de Paris, sous

(1) A la rigueur, cette succession immédiate d'un nouveau soulèvement lent ne serait pas absolument nécessaire. Des tiraillements, des commencement de relèvements suivant plusieurs des lignes antérieures, ont pu parfaitement suffire à maintenir l'équilibre de capacité pendant les périodes tranquilles. Dans ce cas, le soulèvement brusque du fuseau ou de la zone de bombement ne devrait plus être regardé que comme l'*effet de la concentration instantanée de l'action*, par suite de la résistance de l'écorce à de plus grands tiraillements. C'est là une idée sur laquelle M. Élie de Beaumont a souvent insisté, et qui, il faut l'avouer, a de grandes chances de vérité, et présente même, comme système explicatif des faits, des avantages qu'on n'obtient point en admettant des soulèvements successifs, généraux et isolés.

celui de l'île de Fer, ou bien sous tout autre quelconque, de manière à venir se placer sur le premier ou du côté opposé ; ses effets embrasseront la longueur d'un demi-grand cercle ou à peu près. Cette action nouvelle aura eu pour effet de relever le niveau de la croûte à l'équateur. Les points de la surface qui se trouveront les plus déprimés, les plus rapprochés du centre après la deuxième rupture, et partant, ceux qu'il faudra relever pour rétablir la forme normale, seront les vastes espaces où aucun soulèvement n'a encore eu lieu, et qui dans notre supposition sont compris entre la direction du méridien soulevé et celle de l'équateur. La marche du troisième soulèvement devra donc être parallèle, ou à peu près, à l'un ou à l'autre de deux grands cercles qui, en partant simultanément de l'équateur, se dirigeraient vers le N.-E. ou vers le N.-O. Le fuseau en bas-relief pourra être situé dans la partie septentrionale ou dans la partie méridionale du globe ; dans l'hémisphère où les autres soulèvements ont déjà eu lieu, ou bien dans l'hémisphère opposé. Son emplacement plus précis sera encore déterminé par les points de moindre résistance. Plus tard, d'autres bossèlements demi-circulaires se feront dans les espaces intermédiaires ; mais après une suite plus ou moins longue de répétitions, les chances redeviendront favorables au retour des anciennes directions, et ainsi de suite. Ce fait de la répétition de directions analogues dans des soulèvements appartenant à des époques très éloignées l'une de l'autre, est complètement constaté par l'observation (1). Il n'est pas nécessaire d'a-

(1) Tout le monde connaît les directions données par M. Élie de Beaumont sur le méridien du lieu, pour les treize soulèvements admis par lui actuellement dans l'Europe occidentale ; nous ferons seulement remarquer qu'ils se partagent, d'après leurs directions, en sept groupes principaux, dont chacun renferme des soulèvements d'âge très différent.

1. Hundsrück, Côte-d'Or.
2. Ballons des Vosges, Pyrénées.
3. Nord de l'Angleterre, Corse.
4. Hainaut, Alpes principales.
5. Rhin, Alpes occidentales.
6. Thüringerwald.
7. Mont-Viso, Tenare.

La reproduction de plusieurs directions à des époques très éloignées, indiquée dès le commencement par M. Élie de Beaumont, est si frappante, qu'à une époque où tous les soulèvements admis aujourd'hui n'étaient pas encore reconnus, M. Le Blanc avait cru y voir une loi de perpendicularité constante entre le soulèvement successif et celui qui, par son âge, le précède immédiatement.

jouter que la direction méridienne du premier soulèvement n'est qu'une pure supposition ; qu'elle n'est aucunement nécessaire ; que ce même bossèlement a pu se faire suivant une tout autre direction quelconque , entraînant alors également une position différente des bossèlements successifs. Nous avons dit de même que l'emplacement de ces bombements postérieurs pouvait être dans l'hémisphère où s'est fait le premier, ou bien dans l'hémisphère opposé. Cela est vrai en théorie ; mais dans le fait, M. Élie de Beaumont fait remarquer que l'immense majorité des terres se trouve renfermée dans un hémisphère dont l'Europe occidentale est à peu près le centre ; ce qui tendrait à montrer que les soulèvements se sont plus souvent reproduits d'un même côté du globe que du côté opposé. C'est là une conséquence naturelle des conditions de moindre résistance ; la croûte , surtout dans les époques les plus modernes où elle était plus épaisse , a dû avoir toujours plus de tendance à se briser du côté où elle avait été déjà maintes fois bouleversée et où elle se trouvait plus élevée , que là où elle était encore plus intacte.

Les couches de sédiment qui se sont déposées pendant une période de tranquillité , venant à être relevées et bouleversées , à la fin de cette période, par le soulèvement accéléré et par la rupture, dans toute l'étendue du bombement , M. Élie de Beaumont a fait remarquer qu'on peut distinguer l'âge des dépôts sédimentaires en les mettant en rapport avec les différentes époques d'agitation ; car les couches déposées après un soulèvement n'ont pu être bouleversées par lui , comme celles qui l'étaient avant. Or, les soulèvements s'étant faits parallèlement à des grands cercles , et ayant chacun une orientation différente (1), il suffira d'étudier la

(1) M. de Bouchepon, qui admet le parallélisme découvert par M. Élie de Beaumont, en voulant combattre sa théorie des soulèvements, dit, entre autres choses, que la simple contraction due au refroidissement aurait pour effet d'exclure tout parallélisme de fractures ; il donne à ce propos l'exemple « d'une pomme qui se flétrit et se dessèche, et dont » la peau, attirée par la partie intérieure en tous ses points, ne forme » pas des rides parallèles, mais qui se grimace, au contraire, de la façon » la plus capricieuse. » (*Etudes sur l'histoire de la terre*, Paris, 1844, p. 86.) C'est là une comparaison qui confond deux forces physiques complètement différentes dans leurs manifestations : la *force de cohésion* d'une masse molle, humide, et même quelquefois un peu visqueuse, où la résistance variée des fibres organiques, que le dessèchement déchire ou raccourcit, favorisée par l'absence complète de rigidité de la peau, produit toutes sortes de modifications capricieuses ; et la *force de gravité*, la pesanteur, rapprochant uniformément de son centre toutes les parties de l'écorce de la terre, qui, même en adop-

direction générale du soulèvement qui a bouleversé les couches d'une époque donnée , pour pouvoir établir l'identité d'âge des couches dérangées par ce même soulèvement dans des bassins éloignés. Les faits que M. Élie de Beaumont a réunis dans son Mémoire sur les soulèvements des montagnes , et ceux qui sont venus s'accumuler de tous les côtés, ceux que MM. Boblaye et Virlet ont indiqués dans leur grand ouvrage sur la Morée ; ceux que M. Alcide d'Orbigny a reconnus en Amérique, etc., etc., prouvent assez la vérité de ce principe. C'est parce que je suis d'opinion qu'il s'est élevé au rang d'un véritable caractère géologique , et qu'en dehors de cela , lorsqu'on s'éloigne des bassins types , on n'a rien de bien certain sur quoi s'appuyer, que je ne crois pas inutile de dire quelques mots sur son application.

Les lois de parallélisme des soulèvements de même âge ont été l'objet d'attaques peu fondées d'un côté, et d'exagérations qui se sont également éloignées de la vérité de l'autre. On a dit que leur auteur avait voulu limiter le nombre des soulèvements brusques aux douze et quelques époques qu'il avait reconnues en France. Ce reproche n'a plus eu de sens , lorsqu'on a vu M. Élie de Beaumont admettre successivement plusieurs époques de soulèvements qui avaient été indiquées par différents observateurs dans les pays les plus divers. Sur ce point la théorie laisse toute latitude , et jamais , j'ose le dire , bien que la largeur nécessaire des zones ou des côtes de bombement , qu'on pourrait peut-être fixer à une moyenne de 15 à 25 degrés , n'ait pas encore été établie par le calcul , et qu'elle ait dû être très variable aux diverses époques, et aller en augmentant dans les périodes les plus récentes , en raison de l'épaisseur toujours plus considérable de l'écorce , jamais il n'a pu venir dans la tête d'une personne raisonnable d'affirmer que toutes ces zones ou tous ces fuseaux , quelle que fût leur direction ou leur emplacement , avaient dû toucher au sol de la France , qui occupe une portion d'étendue aussi minime de la surface ter-

tant les vues de M. de Boucheporn , repose sur son noyau , comme un grand radeau de planches reposerait sur une masse d'eau nivelée , et dont la demi-rigidité ne lui permet pas de se plisser sur un seul et même point dans plusieurs sens à la fois. Lorsqu'on n'a garde de fonder ses arguments en se mettant en une contradiction aussi flagrante avec les premiers éléments de la physique que l'on apprend dans les collèges , il n'est pas étonnant que l'on arrive à des théories nouvelles et éblouissantes. On serait tenté, après cela , de demander à M. de Boucheporn si , en faisant sa comparaison , il a cru par hasard que l'axe terrestre fût aussi matériel que le point d'attache qui se prolonge dans le fruit.

restre (1). On a objecté encore que, dans une foule de montagnes, les directions des couches relevées ne sont aucunement parallèles à l'allure des chaînons; que la plupart des chaînes ne constituent point des lignes droites, qu'aucune ne fait le tour du globe; qu'on voit des chaînes s'arrêter brusquement et donner lieu à des plaines, à un pays ondulé ou fendillé; que des couches d'âge différent présentent souvent des directions analogues, etc., etc. D'un autre côté, on a cru qu'il suffisait, pour obtenir la direction d'un soulèvement, d'aller dans une carrière, ou sur la berge d'un chemin vicinal, la boussole à la main, et de noter les degrés de l'angle que forment les couches relevées avec l'horizon; là-dessus toutes sortes de déterminations et de conclusions qui manquent par leur base.

Il est bon de remarquer d'abord que M. Élie de Beaumont n'a jamais songé à attribuer à la direction des couches, même générale dans une certaine contrée, une valeur absolue pour la détermination de leur âge; et que s'il a avancé que la moyenne des directions des couches relevées peut quelquefois être un point de repère, ce n'est que pour des cas particuliers où l'on peut observer

(1) M. Élie de Beaumont vient d'annoncer dans son cours deux nouvelles directions de soulèvements, dont l'une, à laquelle il a donné le nom de *système de Longmynd*, marcherait entre le N. et le N.-E., et aurait relevé en dernier lieu les couches antérieures au terrain silurien inférieur de M. Murchison; ces couches, dont l'ancienneté relative se montre très distinctement dans le *Cumberland*, prendraient le nom de *terrain cambrien*. On aurait ainsi l'avantage d'effacer le nom de *cambrien*, devenu inexact depuis que les couches qui avaient servi de type, celles du Westmoreland, du Hundsrück, des Ardennes, etc., ont été reconnues appartenir au système silurien inférieur, et de pouvoir y rattacher les couches les plus anciennes de la Bretagne. Le soulèvement du Hundsrück viendrait se placer définitivement après le dépôt du terrain silurien et de certaines couches rangées peut-être improprement dans le terrain dévonien; les directions de ce terrain dans les Ardennes, dans la Basse-Bretagne, etc., rentreraient donc dans le droit commun. M. Élie de Beaumont fait observer que la disposition du *grauwackengebirge* de la Laponie dépend de ce même soulèvement.

Un deuxième soulèvement nouveau est celui que M. Gruner, professeur à Saint-Étienne, a reconnu avoir agi sur les couches houillères de ce bassin. Ce relèvement, qui se serait fait dans la direction N. 20° O., servirait à expliquer une quantité de faits, et entre autres l'absence en France du calcaire carbonifère dont le dépôt en Angleterre et en Belgique aurait précédé ces dislocations.

Ce dernier système vient se grouper avec les soulèvements du Mont-Viso et du Tenare. Le système de Longmynd se rapproche de la direction de celui du Rhin et de celui des Alpes occidentales.

des directions constantes sur de grandes étendues. M. Élie de Beaumont ne recommande ce caractère principalement que comme étant utile pour les régions, où le manque de roches massives alignées ne donne aucun autre moyen pour juger de la direction des soulèvements ; mais il insiste sur ce qu'on ne saurait tirer des conséquences acceptables qu'en se fondant sur l'observation des lignes générales des bosselures terrestres. Ce sont là les opinions que j'ai toujours entendu émettre à M. Élie de Beaumont dans ses cours. Pour répondre aux autres objections, nous allons analyser les phénomènes qui doivent résulter à la surface par suite des mouvements indiqués.

Le *premier soulèvement séculaire*, qu'il se soit fait sur une zone ou sur une surface analogue à une côte de melon, n'a pu produire sur les couches superficielles que des *fentes* ou des *rides*, les unes et les autres parallèles, à peu de chose près, à la bosselure. Considérons d'abord une zone de bombement, il se fera : *a* des fentes dans les parties les plus faibles de la bande médiane de cette zone. Ces fentes, dirigées dans le sens du soulèvement, auront été accompagnées çà et là de quelques autres petites fentes transversales, résultant de la tension longitudinale produite par l'allongement des diamètres du grand cercle de la sphère. Nous avons au croisement de ces deux systèmes de crevasses autant de points favorables à l'emplacement des foyers d'éruption postérieurs ; *b* des rides, résultant d'un soulèvement indirect des couches sédimentaires supérieures, dans les zones limitrophes des deux côtés du bossèlement. Car, à cause de sa répartition sur une étendue incomparablement plus grande, l'affaissement général et tranquille de l'écorce en dehors de la zone soulevée, ne pouvait pas être aussi considérable que l'élévation du sol dans cette même zone ; il a dû donc en résulter, aux deux limites latérales du bossèlement, une grande pression horizontale analogue à celle qui produit les effets qu'on observe sur la partie concave d'un bâton vert recourbé. Pendant cette action du soulèvement séculaire de la zone de bombement, les bandes limitrophes ont dû se trouver comme renfermées dans une dépression pour l'élévation démesuré d'un côté ; bien plus, à cause du peu de flexibilité de la croûte terrestre relevée, il a dû se produire dans ces mêmes bandes pendant la durée entière du soulèvement, un enfoncement graduel du sol ; ce qui, dans les périodes successives, nous expliquera parfaitement et l'existence de dépôts riverains dont la puissance serait incompréhensible différemment, et la formation de ces tourbières immenses, qui ont donné lieu à des dépôts de combustibles

d'une épaisseur étonnante (1). Ces mouvements généraux ont poursuivi leur cours régulier en même temps que des relèvements et des écroulements partiels très nombreux, et des dégagements de gaz de l'intérieur, ont pu modifier temporairement plusieurs parties de cette croûte incohérente qui subissait des efforts aussi puissants; de là, des tremblements du sol plus ou moins violents. A l'époque de la rupture, les fentes, dont la direction avait été préparée peu à peu par la tension transversale dans la partie convexe de la zone soulevée, se sont ouvertes; les rides des bandes latérales qui n'existaient qu'à l'état de rudiment, se sont développées. Plusieurs crevasses se sont changées en grandes failles. Dans d'autres, des colonnes du fluide incandescent poussées violemment par la pression intérieure, ont monté; leur poids réagissant sur les zones limitrophes a empêché la croûte de se briser au-dessous d'elles et de se replier complètement; elles ont soulevé d'une manière directe les parties solides adjacentes. D'où, formation de nouvelles rides, soit entre deux relèvements partiels, effets des émergences particulières de deux cheminées parallèles et placées sur un même méridien de la zone de bombement; ou bien sur les côtés immédiats des lignes de rupture, où les couches ont dû être différemment plissées, bouleversées, et même renversées par la pression qu'exerçaient latéralement les masses encore pâteuses (2). Entre la partie convexe formée par le soulèvement qui s'est fendillée, et les parties latérales qui se sont ridées, il a dû rester deux bandes parallèles où la tension s'est trouvée en équilibre; là, rien de bien apparent n'est arrivé à la surface, et pourtant le sol n'en a-t-il pas moins peut-être été exondé graduellement. Les roches éruptives en se refroidissant ont dû subir un grand retrait; de là, formation de nouvelles failles qui, elles aussi, ont dû être sensiblement dans la direction du soulèvement.

(1) Théorie des terrains houillers de De Luc, développée et mise au niveau de la science par M. Alexandre Brongniart (*Tableau des terrains*, etc., Paris, 1829).

Mém. géol. et paléont. de M. Boué, t. 1^{er}.

Mém. de M. Élie de Beaumont, dans le n° 45 de la *Revue française*, 1830.

Mém. de M. de Collegno sur le gisement de la houille en Europe, etc., etc.

(2) Ce sont ces rides par pression latérale que Hutton a reconnues, que sir James Hall a si bien décrites, auxquelles Saussure a donné le nom de *refoulements*, mais sans que ni les uns ni les autres se doutassent encore de la grandeur et des lois générales du phénomène.

Que si la bosselure , au lieu d'avoir été zonaire , ne s'est faite que sur un espace plus circonscrit et semblable à un fuseau , tous les effets indiqués pour la zone de bombement auront également lieu à la surface , seulement ils seront encore plus compliqués. Ainsi , nous aurons des fentes dans la bande médiane de la côte ; mais ces fentes se multipliant parallèlement sur une grande largeur au milieu du bombement , seront singulièrement réduites aux deux bouts du demi-cercle ; ici , tout le mouvement finira par se résoudre en un nombre plus ou moins grand de rides divergentes qui disparaîtront insensiblement. Les rides des bandes latérales et l'enfoncement graduel au-delà de ces mêmes bandes auront également lieu , mais elles ne pourront affecter un parallélisme absolu que dans la partie où le soulèvement acquiert son maximum de largeur ; ce n'est que dans ce cas , ou bien le long de la ligne médiane longitudinale de la bosselure , qu'elles coïncideront complètement avec la direction générale de cette dernière. Le soulèvement par côte de melon exigera enfin une quantité de pression beaucoup moins grande , mais les périodes séculaires seront plus courtes et les moments d'agitation plus fréquents. La croûte terrestre sera moins généralement bouleversée à l'époque de la rupture ; mais étant obligée de se déformer , quoique légèrement , sur toute sa surface , afin de pouvoir se rapprocher , sans déchirures transversales , à l'endroit du bombement , il en résultera , pendant la période tranquille qui la précède , des tiraillements , des soulèvements ou des enfoncements locaux , produits par les pressions horizontales entre les différentes pièces qui la composent ; multiplicité d'effets variés et partiels qui est bien en rapport avec l'état de l'écorce solide telle qu'on l'observe sur la surface terrestre , et avec son instabilité reconnue (1). Les chaînes de montagnes seront

(1) Il est parlé ici des tiraillements que subit l'écorce comme d'un effet complexe , mais dépendant du soulèvement lent qui a lieu suivant une zone ou un fuseau. Que si , comme dans la note (2) , à la page 626 , l'on admet que la période de tranquillité commence par des tiraillements de toute espèce , au lieu d'être signalée par l'avènement d'un nouveau système qui se développerait peu à peu , ces tiraillements ne doivent plus être regardés que comme les avant-coureurs et les préparateurs pour ainsi dire du soulèvement instantané. Dans tous les cas , il est certain que des tiraillements doivent se faire , et qu'ils ont lieu pendant tout le cours de la vie du globe. Dans la situation forcément hypothétique où se trouvent toutes ces questions , il ne nous reste qu'à souhaiter vivement que des calculs exacts puissent bientôt venir répandre une lumière plus claire sur la géogénie. Peut-être trouvera-t-on

plus limitées dans leur étendue ; car, non seulement au moment de la rupture l'action soulevante se partagera sur une multitude de chaînons isolés et en rapport avec les crevasses qui se sont produites, ainsi qu'il arrive lors du soulèvement zonaire ; mais les deux extrémités de la bosselure devant passer par un état intermédiaire avant que les rides qui en font la suite soient obligées de remplacer le fendillement, ces crevasses ne se prolongeront pas même sur toute la longueur du bossèlement demi-circulaire. L'étendue longitudinale de la partie montagneuse ne pourra donc atteindre qu'un tiers environ de la périphérie du grand cercle (1).

Dans le premier soulèvement arrivé sur une surface très peu accidentée, et où les mouvements sont réduits à leur plus simple expression, les fentes, les rides, et les contournements des couches, à l'exception des plissements qui ont dû se faire près des cheminées d'émersion, et qui ont dû être en tous sens autour des masses d'épanchement, avaient toutes un alignement sensiblement parallèle à la direction générale de la zone de bombement. En prenant la moyenne d'une seule ride, on aurait pu en conclure l'orientation de tout le soulèvement. Un seul cataclisme ayant eu lieu, les couches relevées avaient été nécessairement dérangées lors de cette catastrophe. Plus tard, il n'en fut plus ainsi : les périodes vinrent s'ajouter aux périodes, les soulèvements aux soulèvements ; ceux-ci s'entrecroisèrent de mille manières différentes. Dans les dernières époques, les fractures des bossèlements devinrent moins fréquentes, mais les nouveaux soulèvements qui en résultèrent étant beaucoup plus considérables, en raison de l'accroissement de l'épaisseur de l'écorce, masquèrent fort souvent les plus anciens (2) ; des points de la surface furent affectés par plusieurs ruptures suc-

alors que les mouvements de la croûte terrestre et les catastrophes qui s'ensuivent, dépendent à la fois un peu de toutes les différentes causes que nous sommes obligés de supposer aujourd'hui, et qui ne se présentent à nous qu'enveloppées des ténèbres du mystère.

(1) *Leçons orales de l'École des mines.*

(2) L'observation, constatée sur toute la surface du globe, que les plus hautes montagnes sont progressivement celles qui ont dérangé les couches les plus récentes, et par conséquent qui ont été formées en dernier lieu, est une preuve remarquable en faveur de ces théories. Les bouleversements les plus anciens n'ont formé que des plateaux déchirés ou des montagnes comparativement petites comme celles de la Scandinavie ou du nord de l'Allemagne et de la France ; les Pyrénées, les Alpes, l'Atlas, le Caucase, les Andes, l'Himalaya, doivent aux dernières catastrophes leur principal relief.

cessives, d'autres ont été renfermés entre les bombements de plusieurs soulèvements. Des masses liquides ou pâteuses de toute nature remplirent à plusieurs reprises des crevasses qui s'étaient formées; les oscillations de ces colonnes liquides tendant à regagner l'équilibre après être montées dans les cheminées d'émersion, produisirent des réactions de pression à l'intérieur, qui se traduisirent en dyckes et en filons pénétrant dans les parties fendillées (1). D'anciennes masses plutoniques déjà solidifiées furent relevées une deuxième et une troisième fois, sans que la pâte incandescente arrivât toujours à se procurer une issue sur un ou plusieurs côtés. Les couches environnantes ont été alors rejetées vers tous les points

(1) Pour que de tels effets se produisent, il n'est pas nécessaire que la matière ignée soit à l'état liquide; il suffit qu'elle soit pâteuse. C'est même là l'état auquel se trouvaient les colonnes dont nous parlons, chaque fois qu'il y a eu redressement direct. Jamais, dans ce cas, la matière intérieure n'a été amenée liquide à la surface. Les granites dans l'axe des chaînes montagneuses, les trachytes au milieu des cirques de soulèvements, etc., étaient, lors de leur épanchement, dans un état de demi-consistance; lorsque les roches plutoniques venant de plus bas étaient liquides, elles n'ont fait que remplir des fentes, elles n'ont rien soulevé. Ce fait, que nous observons sans exception, est une des preuves que ces masses pâteuses sont véritablement la cause du soulèvement direct, lequel n'est que le produit de la réaction de ces mêmes masses en ascension, et de l'inertie des couches préexistantes. Cet état pâteux est bien analogue à celui que nous connaissons dans le fer ou dans le quartz fondu; la matière d'émersion a pu se trouver à cet état par plusieurs causes différentes, soit qu'elle appartînt à cette couche intermédiaire participant à la fois des propriétés de la croûte et de celles du noyau, et qui a dû se présenter la première pour le remplissage des fentes produites; soit que, dans le bombement, toujours plus saillant, qui a préparé la rupture, elle ait eu le temps de se refroidir davantage; soit encore qu'elle se trouvât dans un état de combinaison particulier qui lui a permis de rester pâteuse à des températures fort différentes, ainsi que cela paraît avoir eu lieu pour le granite.

L'état de combinaison dans lequel les granites se trouvaient lors de leur émersion est une des questions les plus importantes de la géologie, et qui se rattache aux phénomènes de métamorphisme et à toutes les grandes lois de la science. Ne pouvant nous occuper pour le moment que des phénomènes mécaniques qui régissent toute la géologie, il ne nous est pas permis de l'aborder; cette question n'en reste pas moins une des plus intéressantes, et, quoique les belles découvertes de M. Scheerer (*Ueber eine eigenthümliche Art der Isomorphie, welche eine ausgedehnte Rolle in Mineralreiche spielt*; von Th. Scheerer in Christiania; *Ann. de Poggendorff*, t. LXVIII, et *Bull. de la Soc. géol. de Fr.*, séance du 15 février 1847) lui aient fait faire un grand pas, elle n'est point encore résolue.

de l'horizon ; de grandes fractures ont été déterminées dans le sol ; elles rayonnent autour du point ou du chaînon relevé. Parfois, des masses pâteuses se sont répandues sur des couches peu inclinées ; leur retrait de refroidissement a alors entraîné les tranches de ces couches, de manière que les roches sédimentaires ont l'air de plonger au-dessous des masses plutoniques. C'est ce que j'ai vu entre autres à Wettin, près de Halle (Saxe prussienne), où les couches houillères s'inclinent et vont s'enfoncer au-dessous des porphyres qui les ont débordées. Lorsque la pâte injectée venait en contact avec des roches de la surface, et que, par sa température ou par les émanations de quelque nature qu'elles fussent, liquides ou gazeuses, qui ont toujours accompagné les épanchements de l'intérieur, elle a produit des altérations sur les roches avoisinantes, ou lorsqu'elle y pousse des filons, il est facile d'en conclure que les roches qu'elle traverse ont préexisté ; que si la masse plutonique n'a été que relevée, alors tout moyen de contrôle cesse. Des courants partis de soulèvements postérieurs dénudèrent les couches fracturées précédemment, et en portèrent les débris au loin. Des soulèvements, traversant par leur direction une ancienne bande de ridement, y produisaient des fentes ou des chaînons ayant une direction quelquefois à angle droit avec celle des couches préexistantes, ridées et souvent déjà rasées par la dénudation. Nous avons dans ce cas des couches relevées fort anciennement, et qui pourtant forment le corps de montagnes ayant une tout autre direction, et dont l'âge est infiniment plus récent. D'autres fois, des couches horizontales, comprises dans l'étendue d'un soulèvement postérieur, ont été entraînées dans la direction des couches plus anciennes relevées suivant un tout autre alignement, ou bien des couches d'une telle époque, respectées par plusieurs soulèvements successifs, ne furent dérangées que plus tard. Les soulèvements brusques surtout ont été accompagnés d'une quantité d'affaissements partiels qui donnent aux couches toutes sortes de directions. Parfois c'est le soulèvement séculaire qui a eu le plus d'influence dans la formation des continents (1), et alors on n'a d'autre indice

(1) M. Rozet (*Bull. de la Soc. géol. de Fr.*, vol. XII, 1^{re} série) admet, parmi les causes du changement relatif des niveaux des terres et des mers, les variations que la gravitation a dû éprouver sur les différents points du globe, par suite des déplacements de la matière qui s'accumule dans les bossèlements successifs. Les travaux géodésiques et les observations astronomiques, les résultats obtenus par le pendule et par le baromètre s'accordent, dit-il, à nous montrer que le niveau moyen des terres et des mers est loin d'être conforme dans tous les points du globe, à la surface d'un ellipsoïde de révolution ayant $\frac{1}{305}$ ou

de ce relèvement, qui a porté à des milliers de pieds de distance verticale le niveau de couches, restées d'ailleurs parfaitement horizontales (1), que dans les lignes d'anciens rivages, dans les roches percées par des mollusques saxicaves de l'époque, etc. (2); c'est

$\frac{4}{307}$ d'aplatissement, forme régulière la plus rapprochée avec laquelle on puisse comparer les limites de notre planète; il existe des portions fort étendues du continent qui sont plus basses que le véritable niveau moyen de la mer, sans que pour cela elles soient envahies par les eaux; d'autres où la mer remonte bien au-delà du point où l'ellipsoïde indiqué serait osculateur à son niveau. Il est certain que les eaux de la mer doivent s'accumuler en excès à l'approche des continents, et surtout des continents très élevés, et que la surface de ces eaux ne saurait répondre d'une manière exacte à la convexité de la terre; mais si l'on a égard à l'importance infiniment petite des bossèlements, et surtout des plus anciens, par rapport au rayon terrestre, on ne saurait accorder à cette cause une très grande influence dans la répartition des terres et des mers. Car l'attraction des eaux vers un point déterminé ne pouvant se faire qu'à la suite d'une accumulation de matière, le soulèvement a dû toujours précéder et dépasser de beaucoup les changements de niveau du liquide. Le niveau de la mer est, à la Rochelle, au-dessous de la surface de l'ellipsoïde; mais, pour qu'il pût la dépasser, il faudrait d'abord qu'un bombement se fît du côté du continent, bombement qu'il ne pourrait que suivre de loin, et qui très probablement restreindrait encore davantage les limites de l'Océan au lieu de lui permettre de s'avancer dans les terres. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que les petites différences qu'on observe entre le niveau moyen des eaux de plusieurs contrées du globe sont probablement dues en grande partie aux courants sous-marins qui sillonnent constamment l'Océan. Or, si un soulèvement a lieu au loin, et qu'à sa suite la disposition des mers, et partant la marche des courants, vient à être changée, il y aura également sur les points en question un changement relatif du niveau des terres et des mers. C'est là une cause d'immersion, et même de translation de matières qui me paraît plus réelle que les variations dans la pesanteur par suite des ridements terrestres, et qu'il ne faudrait pas perdre de vue, car elle a pu avoir des effets partiels assez considérables.

(1) Lorsqu'il n'y a pas de causes locales particulières, la déviation de l'horizontale produite par la courbure du bossèlement est infiniment petite et ne saurait être appréciable à l'œil.

(2) Les recherches de ce genre sont d'une importance encore plus grande lorsqu'il s'agit des époques anciennes que pour l'époque actuelle. Personne n'a oublié le fait intéressant signalé par M. Deshayes, qui a trouvé en Belgique la craie inférieure superposée au calcaire de transition percé par des coquilles lithophages de l'âge de la craie (*Rapport de M. Boblaye sur les travaux de la société pour 1832*). Si ce fait n'indique point un soulèvement lent, ce dont, ne connaissant pas l'état des lieux, je ne peux juger, il est toujours une preuve de la hauteur à

le cas qui se présente actuellement entre autres pour la Scandinavie (1). D'autres fois, au contraire, c'est à la suite des ruptures brusques qu'un des côtés de l'écorce bosselée est retombé au-dessous du niveau moyen, en même temps que les matières d'épanchements soulevaient de hautes chaînes de montagnes (2). Ici un certain bossèlement ayant passé, les couches de la formation qui l'a précédé ou de celle qui l'a suivi sont discordantes; plus loin, l'affaissement général qui l'a accompagné n'a pu causer sur leur gisement réciproque aucun effet sensible.

Dans les époques secondaires et tertiaires, après que plusieurs soulèvements séculaires et plusieurs ruptures ont eu partagé la surface en mers profondes et en continents, une autre cause d'incertitude est venue s'ajouter à tant de complications et à accroître encore davantage les difficultés du géologue. De par les lois isothermes, la surface intérieure de la croûte terrestre est forcée de suivre une ligne ondulée en rapport direct, quoique éloigné, avec les différences de niveau du fond des mers et des continents. Le soulèvement zonal ou en forme de côte qui vient passer sous une surface aussi inégale, produit, lui aussi, des fentes et des rides tout comme le premier soulèvement séculaire; mais, abstraction

laquelle arrivaient à un certain temps les eaux crétacées, et de la profondeur où s'est fait le dépôt.

(1) Observations de M. de Buch et de M. Al. Brongniart (*Tableau des terrains qui composent l'écorce du globe*; Paris, 1829; Bruxelles, 1838, p. 108; et *Comptes-rendus* de Berzélius pour 1826, p. 292). Voyez également le Mémoire de M. Keilhau (*Magazin for naturvidenskaberne*, 2^e série, vol. I), et celui de M. Lyell (*Philosophical Transactions*, 1835), ainsi que le Rapport de M. Élie de Beaumont sur les Observations de M. Bravais dans le Finmark (*Comptes-rendus de l'Acad. des sc.*, t. XV, p. 847, 1842).

On sait, d'après les sondages (*Recherches sur la partie théorique de la Géologie*, par M. de la Bèche, trad. de M. de Collegno, 1838, p. 435), qu'une élévation du sol de cent brasses suffirait pour mettre à sec toute la mer du Nord, une grande partie de la Baltique et les mers intérieures de la Grande-Bretagne sur une étendue d'un grand nombre de millions de mètres carrés, et que toute cette vaste région conserve à peu près un niveau constant. Si, comme l'a pensé M. Le Blanc (séance du 23 janvier 1841), « l'exhaussement actuel des côtes de la » Baltique indique la direction d'un grand soulèvement futur; » si le soulèvement lent de la Suède continuait à agir jusqu'à cette limite, on aurait là une immense plaine où rien ne révélerait une action soulevante déterminée.

(2) M. Élie de Beaumont fait remarquer l'alignement de plusieurs chaînes, telles que celle des Andes, par exemple, et celle de la côte de Mozambique, etc., qui suivent la limite des continents.

faite même des croisements et des dérangements locaux préexistants, ces fentes et ces rides seront sujettes à suivre dans plusieurs cas des alignements autres que celui du bossèlement. Il en résultera toujours des fentes sur la surface d'un continent élevé au-dessus du niveau moyen des ondulations de la croûte; ces fentes seront exposées, il est vrai, à suivre pendant quelque temps la direction des crevasses antérieures; elles passeront souvent autour d'un massif igné peu étendu, au lieu de le diviser, etc.; mais leur marche générale ne s'éloignera pas beaucoup de celle du soulèvement; la matière ignée venant occuper ces fentes, engendrera des montagnes qui s'arrêteront, et quelquefois même brusquement, là où commence l'action que nous allons indiquer.

Le remplissage des bassins profonds sous-marins se fait en général d'abord par un dépôt en couches d'épaisseur inégale qui bouche toutes les parties les plus profondes et donne à la surface du fond une inclinaison faible, il est vrai, mais assez sensible pour que les sédiments supérieurs, bien que s'approchant continuellement de l'horizontale au moyen d'une plus grande épaisseur de leur milieu, finissent par présenter toujours une certaine concavité qui suit au moins de loin les formes du bassin original (1). Lorsque le soulèvement séculaire, quittant le continent

(1) Un des hommes qui ont fait faire le plus de progrès à la géologie, M. de la Bèche, admet (*Rech. sur la 1^{re} théor. de la Géologie*, trad. de M. de Collegno, p. 34 et suiv.) qu'à l'extrémité des deltas d'embouchure il peut se former, dans certaines circonstances, des couches de 30° à 40° d'inclinaison; je crois, avec M. de Collegno (note à la p. 54 de *l'Art d'observer en géologie*), que ce mode de dépôt ne forme jamais de véritables couches. S'il y a un cas, à mon avis, où il soit possible et même nécessaire que des couches à surfaces sensiblement parallèles se forment dans une position assez inclinée, ce ne peut être lorsqu'un courant qui se traîne sur le sol tend par son action même à égaliser les matières qu'il charrie ou qu'il trouve accumulées; cela ne saurait arriver que dans un bassin profond, où des courants superficiels amènent des eaux chargées de matières en suspension; ces matières, retombant après le ralentissement du courant, viendront se déposer tranquillement sur le fond, au-dessous de la portée du mouvement des vagues, et rien n'empêchera qu'elles ne forment un sédiment d'une épaisseur à peu près constante, et qui suivra assez bien les irrégularités du sol. D'après les expériences de M. Bravais dans le Nord et de M. Aimé à Alger, l'agitation des vagues se communique jusqu'à 30 et 40 mètres de profondeur; on s'aperçoit, par l'aspect de la surface de la mer, de l'approche du banc de Terre-Neuve, qui est à 460 mètres au-dessous du niveau des eaux; on sait également que l'action des vagues se fait encore sentir, quoique faiblement, à 488 mètres, à l'île de Bourbon. Ce n'est donc qu'au-dessous d'une profondeur moyenne de 200 mètres qu'il

où il a préparé des fentes et des montagnes, vient à passer inférieurement à un de ces bassins qui se trouvent au-dessous du niveau moyen de la croûte ondulée, les couches de sédiment qui y sont étendues et qui peuvent être récentes, ou mieux encore appartenir à une autre époque et avoir été recourbées en bassins même très concaves par des soulèvements antérieurs, subiront, par le seul fait du relèvement vertical du fond et de la diminution de sa capacité, une pression latérale puissante qui tendra à y former des rides. Or, la direction de ces rides lentement préparées et développées par le soulèvement séculaire, augmentées et exagérées au moment de la rupture, sera toujours en rapport soit avec la direction des couches relevées plus anciennes qui les supportent, soit avec la forme des bassins; car il est évident que, toutes circonstances égales d'ailleurs, la direction de ces rides sera toujours suivant le sens de la plus grande longueur des mêmes bassins, c'est-à-dire dans le sens où un nombre moindre de rides suffit pour satisfaire le mouvement (1). M. Élie de Beaumont a fait re-

pent se former des dépôts en couches assez inclinées. Mais de telles profondeurs ne se trouvent dans les cas ordinaires que bien avant dans la mer, où les seules matières qui peuvent être encore mécaniquement conservées par les eaux sont aussi fines que des argiles, ce qui empêche encore le résultat que nous venons d'indiquer; car, ainsi que M. Élie de Beaumont l'a souvent rappelé au Collège de France, les dépôts argileux se font à la manière des précipités chimiques; les molécules solides répandues dans le liquide se condensent vers le fond pour former une bouillie épaisse qui naturellement va occuper les parties les plus basses et qui ne s'éclaircit par la sédimentation que bien peu de temps après et très lentement. Il se fait donc dans ce cas un dépôt également presque horizontal. Ce n'est, par conséquent, que dans des conditions exceptionnelles, là où des forts courants superficiels existent dans des mers profondes, et plutôt lorsqu'il s'agit de dépôts sableux et fins, et non de dépôts de sables grossiers et de galets, ou de sédiments calcaires qui, par suite des conditions d'existence des animaux sécréteurs, n'ont pu s'effectuer que dans les bas-fonds, qu'on peut attribuer une cause originaire naturelle à des couches faiblement inclinées; et cette inclinaison même ne saurait atteindre les limites extrêmes que M. de la Bèche et plusieurs autres géologues ont cru pouvoir lui attribuer: encore faudrait-il en excepter les endroits soumis à l'action de courants sous-marins profonds, comme ce serait, par exemple, celui qui, sur les côtes du Chili, remonte vers l'Equateur.

(1) Supposons que la rupture d'un bossèlement parallèle au grand cercle méridien de Paris vienne soulever par deux chaînons, d'un côté l'arête longitudinale de la Grande-Bretagne, de l'autre côté, la bande, qui lui est sensiblement parallèle, du Danemark et de la Norwège

marquer que le fond des bassins, même les plus profonds, lorsqu'ils dépassent une certaine étendue, doit participer à la convexité de la surface terrestre. Dans ce cas, la partie du fond qui est soumise à cette loi sera sujette à se fendiller à la manière des continents; mais les couches récentes qui recouvrent le fond des bords des bassins, lorsqu'il est concave, au-delà des bas-fonds qui entourent souvent les côtes, et des alluvions d'embouchure (1), seront forcées de se plisser, et cela dans un sens analogue à la marche du rivage. Si donc, par hasard, la direction du soulèvement se trouve couper le rivage à angle droit, celle des rides lui sera perpendiculaire. Les terres dont le niveau de la surface approche du niveau moyen de la croûte terrestre seront fendillées elles aussi, mais elles ne donneront lieu ni à des montagnes ni à des rides; elles ne présenteront que peu de traces de la révolution qu'elles ont subie. Ces effets doivent avoir été surtout sensibles pendant les dernières périodes primaires et pendant toutes les périodes secondaires; car alors l'écorce du globe était déjà suffisamment inégale et elle n'était pas encore aussi épaisse que plus tard (2). Le poids de puissants dépôts marins a pu avoir également une certaine influence dans les inflexions de l'écorce terrestre, surtout lorsqu'elle était encore faible et lorsqu'il y avait déjà une tendance au mouvement. M. Élie de Beaumont, qui s'est

méridionale. Ce soulèvement relèvera les deux côtes est et ouest de la mer du Nord, et, suivant le degré de son étendue verticale, il plissera les couches récentes déposées dans ce bassin peu profond, ou bien il se bornera à les recourber; dans ce dernier cas, le fond du bassin aura acquis une plus grande concavité sans que les couches en soient sensiblement dérangées. Mais qu'un soulèvement postérieur vienne passer dans quelques millions d'années, sous cette même mer; alors si le fond a été plissé, il y aura exagération de ces plis; que s'il n'a été rendu que concave, à commencer d'une certaine distance des côtes où il n'aura pas été beaucoup encombré par des dépôts postérieurs, il sera obligé de se rider. Quelle que soit la direction du nouveau soulèvement, les rides marcheront dans le sens de la plus grande longueur du bassin, c'est-à-dire du sud au nord.

(1) D'après les calculs de M. Élie de Beaumont, un talus dont le maximum n'est que $2^{\circ}, 50'$, ne commence, dans l'Atlantique qu'à une assez grande distance des terres, au-delà du contour des sondes de 400 brasses. Les bas-fonds qui entourent les côtes sont souvent produits par l'action destructive et égalisante de la mer; c'est surtout sur les côtes anciennes et formées par des roches tendres que cet effet est très apparent.

(2) Les calculs des conditions de concavité ou de convexité du

servi de ces considérations pour expliquer dans certains cas l'épaisseur très grande de quelques dépôts riverains des époques reculées, admet que ces dépôts ont pu exercer parfois l'action du dernier grain que l'on ajoute sur l'une des deux balances en équilibre (1). Dans ce cas, si le bassin est concave, il y aura ridement dans le sens longitudinal, et le mouvement sera d'autant plus facile que les rivages se rapprocheront en s'abaissant; des formations plus ou moins considérables de combustible pourront se rattacher à ce phénomène. S'il est convexe, son enfoncement deviendra beaucoup plus difficile, il ne pourra s'exécuter qu'au

fond d'un bassin hydrographique sont d'une simplicité élémentaire :

Soit m la profondeur du bassin,
 c sa demi-largeur,
 R le rayon terrestre;

On aura $c^2 = m(2R - m)$

D'où $m = \frac{c^2}{2R - m}$

Et nous obtenons les conditions suivantes :

$$m > \frac{c^2}{2R - m} \text{ concavité}$$

$$m = \frac{c^2}{2R - m} \text{ limite}$$

$$m < \frac{c^2}{2R - m} \text{ convexité}$$

Si nous appliquions ceci au cas d'un bassin qui aurait 2,000 mètres de largeur, et par suite, pour lequel $c = 1,000$; nous aurions pour condition de concavité

$$m > \frac{1,000^2}{2R - m}$$

et nous ne trouverions pour valeur limite de m qu'un peu plus d'un mètre.

(1) On pourrait peut-être expliquer de cette manière le rétrécissement de certains bassins pendant le cours même d'une période tranquille, fait qui vient répandre le doute sur la question si un dépôt inférieur dépassant de toutes parts un dépôt supérieur, doit être par cela seul attribué à une période plus ancienne. Le lias de certaines parties de l'Europe se trouve dans ce cas.

moyen d'un ridement, et il y aura pression contre ses bords, ce qui pourra déterminer un relèvement réel des côtes. Mais, en général, la plus grande masse des sédiments se faisant à peu de distance des côtes, l'effet probable pour les bassins très étendus, et par conséquent convexes, serait de faire plonger lentement le rivage pour soulever le milieu des continents et le fond du centre des bassins, ce qui serait en opposition à la majorité des faits observés actuellement, où ce sont, au contraire, les côtes qui se relèvent. Réfléchissons d'ailleurs que la partie des terres qui est émergée, en raison de son poids spécifique qui est plus du double de celui de l'eau, doit tendre à établir un niveau général uniforme, ce qui n'arrive pas pour les terres qui sont au-dessous du niveau de l'Océan, puisqu'elles perdent beaucoup de leur poids.

Les plaines ne se sont formées en couches horizontales que par abaissement lent pendant le dépôt, et presque toutes ont été mises à sec par soulèvement lent. Le fond d'un grand nombre de vastes plaines de la surface terrestre est formé par des couches ridées, plissées, ou même repliées et rasées quelquefois par une dénudation postérieure, sans qu'on puisse y découvrir aucune roche ignée autrement qu'alors que des soulèvements plus récents les ont relevées encore une fois par leurs tranches. Ces couches sont souvent si peu inclinées, que c'est à peine si les métamorphoses qui sont arrivées au moyen d'émanations dans les axes de leurs rides, viennent témoigner de leur position dérangée, malgré l'absence de toutes roches plutoniques, qui, en s'élevant au-dessous, et même en restant cachées, auraient dû les briser et écarter les côtés des fentes en les soulevant. Les travaux de Hoffmann sur le nord de l'Allemagne; le magnifique ouvrage de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling sur la Russie; les descriptions des Alléghany; celle de la Bretagne, par M. Dufrénoy; les beaux Mémoires de M. Dumont sur le sol de la province de Liège, et de MM. Thurmman et Rozet sur le Jura; et bien d'autres ouvrages descriptifs témoignent, par les coupes qu'on peut y étudier, de l'importance de ces ridements par pression latérale, de ces relèvements des couches indirects et indépendants des roches d'émer-sion, qui peuvent résulter soit du recourbement de la surface supérieure d'une certaine zone entre deux chaînons d'émer-sion, soit du simple relèvement ou enfoncement vertical du fond des bassins.

Ce que nous venons de dire suffit pour montrer tout ce qu'il y a de rude dans le métier du géologue, et combien ce serait hasardé

de vouloir pousser un principe juste et fécond au-delà des limites qu'une main de maître a su lui tracer. Le caractère géologique qui découle de toutes ces considérations est le seul qui nous amène à des résultats certains ; mais, pour s'en servir, il faut savoir faire la part à tous les mille et un accidents locaux ; il faut étudier la surface des couches et suivre patiemment les formations quelquefois sur des centaines de lieues ; il faut principalement avoir égard aux alignements des roches massives, aux fentes, aux failles et aux rejets des vallées ; aux cours des rivières qui souvent sont en rapport avec ces phénomènes. Il faut considérer plutôt les couches relevées directement à quelque distance de ces mêmes roches, que celles qui doivent leur inclinaison aux pressions latérales indirectes et variables, et avoir bien soin, avant de rapprocher la direction générale observée dans une contrée, d'un des soulèvements adoptés pour un autre pays, de réfléchir d'abord si, d'après la longueur probable des bombements, le soulèvement qu'on prend pour modèle peut passer par cette contrée ; ensuite de déterminer la direction que ce soulèvement doit avoir sous le méridien du lieu (1). Pour arriver à de bonnes déterminations, on doit mettre également à contribution la pétrographie, en étudiant bien l'aspect des roches (2) et la nature des galets qui composent les différents

(1) M. Élie de Beaumont n'a cessé d'appeler l'attention sur ce point ; il n'est, en effet, que trop aisé, lorsqu'on rapproche des directions dans des pays éloignés, de faire abstraction de la courbure du globe, et de ne point songer à ce qu'à l'exception de ceux qui sont parallèles à l'équateur, les bossèlements, à mesure qu'on les poursuit, viennent couper chaque nouveau méridien sous un angle différent ; de manière qu'un soulèvement qui, de Paris, marcherait vers le N.-E., ne pourrait arriver aux antipodes qu'avec une direction N.-O. absolument contraire et à angle droit avec la première. Cette circonstance est trop évidente pour qu'il ne suffise pas de l'avoir indiquée ; en calculant l'angle sphérique formé par le grand cercle de soulèvement avec le méridien du lieu, ou bien en construisant les directions sur un globe suffisamment développé, on parviendra aisément à des données exactes ou approximatives.

(2) J'entends par *aspect des roches* ce faciès général que conservent presque toujours les composants d'un même étage, et dont un œil exercé peut découvrir les traces, soit dans des circonstances accidentelles communes, soit encore entre une roche métamorphosée et son analogue à l'état naturel. Le faciès général dont nous parlons, qui tient ordinairement à un certain mode de structure originaire des roches, est un véritable caractère auxiliaire, quoique empirique, qui est bien autrement important que celui qu'on tirerait de la classification

conglomérats (1), ainsi que le pays de leur provenance ; il faut s'aider de la chimie , de la minéralogie , de la zoologie , de la botanique. *Il faut surtout ne point restreindre sa pensée à l'horizon auquel peut atteindre sa propre vue, et ne point s'imaginer que l'on domine la nature lorsqu'on n'en aperçoit que les exceptions ; il ne faut point mettre en doute la vérité d'un principe général parce qu'on n'a pas su le suivre dans le labyrinthe de ses manifestations particulières.* Il faut se rappeler le précepte du grand-prêtre de la géologie pratique , Saussure, qui , vers la fin du siècle dernier , s'écriait que : « *Les montagnes ne doivent pas être observées avec un microscope.* »

M. de Verneuil fait la communication suivante :

Note sur le parallélisme des roches des dépôts paléozoïques de l'Amérique Septentrionale avec ceux de l'Europe, suivie d'un tableau des espèces fossiles communes aux deux continents, avec l'indication des étages où elles se rencontrent, et terminée par un examen critique de chacune de ces espèces ; par M. de Verneuil.

Après avoir étudié pendant plusieurs années, en Russie et en Suède, la distribution des fossiles du terrain paléozoïque, l'objet principal de notre courte visite dans l'Amérique septentrionale était de vérifier si la distribution stratigraphique des animaux y est la même qu'en Europe. Il a donc fallu nous familiariser d'abord avec la géognosie de cette immense contrée, en rassembler couche par couche les divers fossiles (2), ou du moins les principaux, puis y distinguer : 1° les espèces propres à l'Amérique ; 2° les espèces

minutieuse des roches par espèces ou suivant leur nature minéralogique, et qui est fort peu utile en géologie.

(1) On sait tout le parti qu'a su tirer de ce caractère M. Al. Brongniart lorsqu'en 1823 il était parvenu par ce simple moyen à rapprocher les terrains de Superga de ceux du Vicentin, classement que la science paléontologique est venue confirmer plus tard.

(2) En décrivant les espèces nouvelles que nous avons rapportées, nous aurons souvent occasion de rendre justice aux divers savants qui se sont occupés avec tant de succès de la géologie des États qu'ils habitent, et à qui nous devons une bonne part de nos fossiles. Nous les prions, en attendant, de recevoir ici l'expression de notre reconnaissance.

identiques avec celles d'Europe. Les premières seront l'objet d'un travail postérieur où nous nous occuperons davantage de la géologie des États-Unis ; les secondes seront le sujet des considérations suivantes, que nous essaierons de restreindre dans les limites qui conviennent au *Bulletin*.

Pour bien faire comprendre la distribution des fossiles en Amérique, et pour mettre à même de juger si les espèces identiques avec celles d'Europe s'y trouvent dans les mêmes couches que ces dernières, si enfin l'époque de leur apparition et la période de leur durée sont concomitantes dans les deux continents, nous ferons connaître, aussi succinctement que possible, la série des dépôts qui composent l'ensemble du terrain paléozoïque, soit dans l'État de New-York, soit dans celui de l'Ohio, ou dans les autres États situés au N.-O. des Alleghanys. La superposition des couches et des étages une fois bien établie, nous dirons quelles sont les espèces identiques avec celles d'Europe qu'ils renferment. C'est là que nous chercherons les éléments nécessaires à la solution de cette double question : 1^o Les espèces se présentent-elles dans le même ordre en Amérique et en Europe, ou, en d'autres termes, y a-t-il dans leur succession, depuis les couches fossilifères les plus anciennes jusqu'à l'étage houiller inclusivement, une loi commune aux deux continents ? 2^o Est-il possible de tracer, entre les divers groupes ou étages du terrain paléozoïque d'Amérique, des divisions correspondant à celles que nous avons établies de ce côté de l'Atlantique sous les noms de systèmes silurien, dévonien et carbonifère ? L'importance que, dans ces recherches, nous sommes porté à accorder aux espèces identiques entre les deux continents, nous a engagé à en donner la liste avec l'indication des divisions où elles se rencontrent, et à joindre à ce tableau quelques détails sur chacune de ces espèces, et en particulier sur leurs divers gisements. Ce sont pour ainsi dire nos pièces justificatives.

Composition du terrain paléozoïque dans l'État de New-York.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas de terrain peut-être qui s'étende d'une manière continue sur une plus vaste surface que le terrain paléozoïque de l'Amérique septentrionale, et cela seul suffit pour le rendre digne de notre intérêt. Les parties déjà reconnues de cet immense bassin comprennent 30 à 35 degrés de longitude et 15 degrés de latitude ; mais ses limites septentrionales sont encore incertaines, et si, comme le croient quelques voyageurs, elles s'avancent jusque vers le cercle polaire, le terrain paléozoïque

embrasserait, à partir de Tusculaoa en Alabama, son extrémité méridionale, un espace de plus de 30 degrés de latitude. Toute cette étendue est loin d'être également étudiée. Plusieurs États ont ordonné des études géologiques destinées à faire connaître les richesses minérales de leur sol, et qui ont donné lieu à des publications très remarquables, mais l'État de New-York a fait plus, il a entrepris la noble tâche de publier un ouvrage complet sur son histoire naturelle. Les travaux géologiques confiés à des hommes éminents ont jeté une vive lumière sur la constitution géognostique de cette partie des États-Unis. Un de ces hasards heureux, comme l'histoire des sciences nous en offre des exemples, a voulu que le territoire de l'État de New-York offrît précisément, au-dessous du système carbonifère, la série paléozoïque la plus complète. Toutes les conditions favorables se réunissaient en outre pour y faciliter les études stratigraphiques et pour donner à la superposition, et par conséquent à la paléontologie, *dont elle est la base fondamentale*, une certitude véritablement scientifique. En effet, dans la partie N.-O. de cet État, les couches inclinent très légèrement au S., de manière à faire affleurer, à mesure qu'on s'avance vers le N., des couches de plus en plus anciennes. Le relief du sol présente une pente précisément inverse; il atteint une assez grande élévation près des limites de la Pennsylvanie et s'incline au N. vers le lac Ontario. Il résulte de cette disposition une série de lacs et de petites rivières qui, se dirigeant du S. au N., coupent transversalement les formations. Ces rivières, profitant probablement de fissures préexistantes, entament le sol comme le Niagara jusqu'à la profondeur de 200 ou 300 pieds, et permettent d'étudier et de reconnaître avec certitude la superposition des divers étages. Il nous est arrivé plus d'une fois de comparer les avantages naturels de cette contrée avec les difficultés que présente la Russie d'Europe, où les plaines sont si peu accidentées, et l'épais manteau diluvien qui les recouvre si peu déchiré.

Aucun pays de l'Europe ne nous offre un développement complet et non interrompu des systèmes silurien et dévonien, et il faut, pour l'observer, traverser l'Atlantique. Depuis les couches fossilifères les plus anciennes, qui correspondent à l'étage inférieur du système silurien, jusqu'à la houille exclusivement, il y a, dans l'État de New-York, une succession continue de dépôts qui se superposent en stratification concordante, sans cependant se recouvrir entièrement. Les quatre géologues officiels de l'État de New-York se sont accordés à y reconnaître 28 groupes ou sous-étages, qu'ils ont réunis de la manière suivante :

Tableau des groupes de la série paléozoïque de l'État de New-York.

Vieux grès rouge.	{	28. Grès et schistes.
Division Érie.	{	27. Groupe de Chemung.
	{	26. Groupe de Portage.
	{	25. Schistes de Genessee.
	{	24. Calcaire de Tully.
	{	23. Groupe de Hamilton.
Division Helderberg.	{	22. Schistes de Marcellus.
	{	21. Calcaire cornifère.
	{	20. Calcaire d'Onondaga.
	{	19. Grès de Schoharrie.
	{	18. Grès à queue de coq.
	{	17. Grès d'Oriskany.
	{	16. Calcaire supérieur à Pentamères.
	{	15. Argiles schisteuses à Delthyris.
Division Ontario.	{	14. Calcaire à <i>Pentamerus galeatus</i> .
	{	13. Calcaire hydraulique.
	{	12. Groupe salifère d'Onondaga.
	{	11. Groupe de Niagara.
Division Champlain.	{	10. Groupe de Clinton.
	{	9. Grès de Médina.
	{	8. Conglomérat d'Onéida.
	{	7. Grès gris.
	{	6. Groupe de la rivière Hudson.
	{	5. Schistes d'Utica.
	{	4. Calcaire de Trenton.
	{	3. Calcaire de Black river.
	{	2. Calcaire siliceux.
	{	1. Grès de Postdam.

Il ne faut pas perdre de vue que ces groupes sont de valeur inégale ; en effet, les uns, tels que le grès de Schoharrie ou le calcaire de Tully n'ont que quelques pieds d'épaisseur, tandis que d'autres, tels que les groupes d'Hudson ou de Portage, atteignent jusqu'à 4,000 pieds. C'est un inconvénient qu'il était difficile d'éviter, car là où de grandes masses n'offrent de changements ni dans leur nature minéralogique ni dans leurs fossiles, il devient inutile d'y établir des divisions. L'étendue horizontale de ces divers groupes n'est pas moins variable que leur épaisseur ; chacun d'eux, suivi sur son prolongement, se renfle, s'amincit ou disparaît ; en sorte qu'il n'y a jamais deux points où la série soit complète, ni même où elle soit semblable, si ces deux points sont tant soit peu distants. Ces circonstances offraient d'assez nombreuses difficultés, qui ont été heureusement surmontées par les géologues de l'État de New-

York, et nous devons rendre ici toute justice à la sagacité avec laquelle ils ont su mettre au jour tous les détails de superposition des divers étages ou sous-étages dont se compose le terrain paléozoïque. Le groupement qu'ils en ont fait en cinq divisions est peut-être moins heureux ; ce sont des coupes assez artificielles, auxquelles ils attachent d'ailleurs eux-mêmes peu d'importance. Fondées sur des différences, soit dans les caractères minéralogiques, soit dans l'étendue de la distribution géographique, elles ne correspondent pas toujours, ainsi que nous le verrons par la suite, avec les divisions principales ou les systèmes de l'Europe.

Si nous ne maintenons pas les divisions principales établies par les géologues de l'État de New-York, nous nous permettrons aussi de réunir quelquefois plusieurs des groupes partiels qui figurent dans le tableau précédent, et que nous allons rapidement passer en revue (1).

1. *Grès de Postdam*. De même qu'en Russie et en Suède, les dépôts sédimentaires dans l'État de New-York commencent par un grès (2). A Keeseville, près du lac Champlain, où nous l'avons vu, ce grès est quarzeux, dur, et à grains fins, passant presque au quartzite. Il est divisé en couches horizontales et a plus de 100 pieds d'épaisseur. Il contient une petite *Lingule* arrondie, presque toujours brisée, que M. Hall a figurée sous le nom de *L. prima*. C'est une coquille qui ressemble beaucoup aux *Obolus* ou *Ungulites*, lesquels en Russie caractérisent un grès analogue. Dans les deux pays, les fragments de ces coquilles, disséminés dans la roche, la divisent suivant des plans parallèles. Selon le docteur Emmons, le grès de Postdam devient en quelques endroits une roche poreuse, blanchâtre et presque friable, comme est en général le grès des environs de Saint-Pétersbourg. D'après le même auteur, il présente quelquefois de ces rides (*ripple marks*) qui indiquent des dépôts tranquilles dans une mer peu profonde.

2. *Calcaire siliceux* (*calciferous sandrock*). — Cette roche est la première d'une série de couches calcaires qui caractérisent, en Amérique, l'étage inférieur du système silurien. A Little Falls, où nous l'avons examinée, c'est un calcaire foncé très impur, et mêlé d'argile ou de silice ; quelques couches sont magnésiennes, remplies

(1) M. Hall lui-même, dans l'ouvrage qu'il prépare sur la paléontologie de l'État de New-York, reconnaît l'utilité de pareilles réunions.

(2) Selon le savant professeur Emmons, il y a encore au-dessous du grès de Postdam un système de couches très épais, qu'il appelle *Taconic system*. Nous nous abstenons d'en parler ici ; car ces couches n'étant connues nulle part, là où les formations sont horizontales, quelques doutes ont été élevés sur leur âge véritable.

de fissures et de géodes, tandis que d'autres présentent une structure oolitique ; la roche du reste est nettement stratifiée, et repose directement sur le gneiss avec une faible inclinaison. A Middleville, les géodes sont remplies de cristaux de quartz à double pyramide et d'une limpidité admirable. Cet étage est pauvre en fossiles ; M. Hall y cite quelques Turbos, des Pleurotomaires et des Évomphales ; mais il est remarquable qu'il n'y existe que peu ou point de brachiopodes. Son épaisseur est d'environ 250 à 300 pieds.

3. *Calcaire de Black river* comprenant le *Chazy* et *birdseye limestone*. — A la roche précédente succède un autre étage calcaire de 150 pieds de puissance environ, plus pur, de couleur bleu ou gris-clair, et qui paraît être le point de départ ou le berceau de la plupart des êtres que nous allons voir se développer dans l'étage inférieur du système silurien. Quelques types cependant lui sont particuliers, tels que les Lituïtes et le genre *Maclurites* Lesueur (espèce d'Évomphale senestre). Les trilobites, encore peu nombreux, y sont représentés par les genres *Isotelus* et *Illoenus* ; les Orthocératites, qui y acquièrent quelquefois la taille énorme de 8 ou 9 pieds, y présentent ces divers types que l'on a nommés *Ormoceras* et *Endoceras*, suivant que le siphon est renflé et annulaire, ou qu'il renferme un tube dans son intérieur. Les brachiopodes, comme formes initiales, nous offrent les genres *Orthis*, *Leptaena* et *Terebratula*. M. Hall remarque avec raison que le calcaire de Black river, de même que tous les groupes subordonnés, possède des espèces propres qui naissent et meurent dans ses limites, ou du moins qu'on ne revoit plus au-dessus, et des espèces qui lui sont communes avec les groupes subséquents ; parmi ces dernières, nous citerons l'*Isotelus gigas*, l'*Illoenus crassicauda* et l'*Orthoceratites bilineatum* Hall. Les trois groupes précédents renferment une grande abondance de fucoides.

4, 5, 6. *Calcaire de Trenton*. *Schistes d'Utica*. *Groupe de la rivière Hudson*. — Ces trois groupes ont tant de fossiles communs qu'ils doivent être réunis, et nous verrons bientôt que, dans les États de l'ouest, ils n'en forment en effet qu'un seul. Ils constituent sans contredit la partie la plus importante de l'étage inférieur du système silurien, par le nombre de leurs fossiles et l'immense étendue qu'ils occupent. Les caractères principaux de la faune de cette époque sont, d'une part, l'absence ou la rareté des animaux vertébrés, dont aucun débris n'a encore été découvert en Amérique (1), et de l'autre,

(1) Nous apprenons par MM. Sedgwick et Murchison (*Proceed. of the Geol. Soc.* 1847, p. 477) que des fragments de poissons du genre *Onchus* ont été récemment découverts dans les schistes de Llandeilo

le grand développement des trilobites et des mollusques, notamment des Orthocératites et des brachiopodes. Aux formes initiales des *Isotelus* et des *Illoenus*, que nous avaient offertes les trilobites dans le groupe précédent, se joignent ici les *Trinucleus*, les *Calymene*, les *Ceraurus*, les *Lichas* et les *Phacops*. Parmi les Orthocératites, se distinguent particulièrement ces grandes espèces à siphon latéral, nommées *Endoceras* et *Diploceras*, que nous avons vues commencer dans le groupe précédent. Les gastéropodes et les acéphales lamellibranches présentent, dès cette époque, un assez grand nombre d'espèces; mais ils le cèdent en importance aux brachiopodes, qui sont représentés par les trois genres que nous avons déjà cités dans le calcaire de Black river. Quant aux polyptères, le *Columnaria alveolata* Goldf., caractéristique de ce dernier calcaire, est remplacé ici par le *Chaetetes Petropolitanus*, un des fossiles les plus abondants. Les fucoides s'y montrent aussi, particulièrement vers la base.

Le calcaire de Trenton est ordinairement noir, bitumineux, et quelquefois un peu magnésien. Il a 2 à 300 pieds d'épaisseur, et est souvent, comme à Trenton Falls, divisé en strates minces et horizontales. A sa partie supérieure, il devient plus schistoïde, plus argileux, et passe insensiblement aux schistes d'*Utica*, remarquables par leur couleur noire, qui semble indiquer une certaine proportion de bitume. La rareté des fossiles dans ces schistes contraste singulièrement avec l'abondance de ceux du calcaire de Trenton. Bien que la transition minéralogique de l'un à l'autre groupe soit insensible, et ne paraisse avoir été accompagnée d'aucun mouvement violent, les espèces du calcaire de Trenton finissent presque toutes là où cesse ce dépôt; mais cette disparition n'est qu'un de ces accidents locaux qu'il faut savoir apprécier et distinguer du phénomène de la succession normale des espèces, car ce n'est en réalité qu'un déplacement. Les espèces, détruites par des circonstances qui leur étaient défavorables dans le territoire de New-York, ont continué à se propager dans les régions situées à l'ouest, et lorsque ces circonstances ont changé de nouveau, lorsque la nature des dépôts a été modifiée, et que les schistes d'Hudson ont remplacé ceux d'*Utica*, alors les animaux qui composaient la faune de Trenton sont revenus occuper leur ancienne patrie, non pas tous intégralement, mais avec cette rénovation partielle et successive que

et dans le calcaire de Bala. Si les poissons sont assez rares dans l'étage inférieur du système silurien pour avoir échappé jusqu'à ce jour aux recherches des géologues d'Angleterre, il n'est pas étonnant qu'on n'en ait pas encore trouvé en Amérique.

le temps leur avait imprimée. Les espèces caractéristiques des schistes d'Utica sont le *Graptolites dentatus* Vanuxem, orné d'une double rangée de dentelures, et un petit trilobite nommé *Triarthrus Beckii*. Ces schistes peuvent avoir 75 pieds d'épaisseur.

Le groupe qui nous occupe se termine, dans l'État de New-York, par des roches de 8 à 900 pieds d'épaisseur, et que l'on en a séparées dans l'origine sous le nom d'*Hudson river group*. Ce sont des schistes à grains plus ou moins fins, et des grès très argileux, gris et brun-foncé, que l'on pourrait appeler grauwackes. La couleur verdâtre, assez claire, des schistes, en général, permet de les distinguer de ceux d'Utica, auxquels ils passent d'une manière insensible. La partie inférieure de ce groupe est, comme les schistes d'Utica, très pauvre en fossiles, excepté en *Graptolites*, dont on compte plus de dix espèces. Il n'en est pas de même de la partie supérieure : on y trouve un assez grand nombre de bivalves inconnues auparavant, telles que sept espèces d'un genre voisin des *Modiols*, et appelé *Modiolopsis*, deux ou trois *Avicules* (genre très rare à cette époque), la *Pterinea carinata* Conr., etc. On y voit aussi apparaître quelques espèces nouvelles de trilobites, d'Orthocératites, de Pleurotomaires, et enfin le *Cyrtolites ornatus* Conr. La plus grande partie des espèces, cependant, surtout parmi les brachiopodes, sont les mêmes que dans le calcaire de Trenton.

7 et 8. *Grès gris et conglomérat d'Oneida*. — Le groupe de la rivière Hudson est surmonté, dans l'E. de l'État de New-York, par un conglomérat quarzeux, et dans l'O. par un grès gris, qui, l'un et l'autre, ne contiennent que des fucoides. Ces roches, que nous n'avons pas eu occasion de voir, ont une épaisseur variable ; c'est avec elles que se termine ce que les auteurs de la Géologie de New-York ont appelé la *division Champlain*. Comme, selon ces mêmes auteurs, ces grès passent insensiblement à ceux de Médina, la limite entre les divisions Champlain et Ontario est tout à fait arbitraire. Il semble préférable de terminer la première grande division des dépôts américains avec les schistes de la rivière Hudson, c'est-à-dire là où disparaissent la plupart des types d'animaux caractéristiques de l'étage silurien inférieur d'Europe. Les grès et les conglomérats qui succèdent aux schistes d'Hudson fournissent une base assez naturelle à la division suivante.

9. *Grès de Médina*. — Les grès précédents, ainsi que nous venons de le dire, se lient à ceux de Médina, sans qu'il y ait entre eux de démarcation tranchée. Ce nouvel étage se compose de grès rouge ou bigarré, très argileux, passant quelquefois à des roches presque entièrement argileuses, ou alternant sur d'autres points avec des grès quarzeux, et il se termine à sa partie supérieure par

une bande de grès gris assez constante, connue sous le nom de *grey band*. Les couches rouges et argileuses ont souvent leur surface couverte de corps cylindriques, se croisant en tous sens, et appelés *Fucoïdes Harlani*. Près de Rochester, ils se trouvent à la partie supérieure de ce grès. Les couches quarzeuses renferment quelques fossiles marins, entr'autres la *Lingula cuneata* Conr., une *Cytherina* assez semblable à la *C. alta* Conr., et le *Bellerophon trilobatus*, espèce commune en Angleterre dans les roches de Ludlow et de Caradoc. La présence de quelques sources salées pourrait facilement faire confondre ce groupe avec celui d'Onondaga, si l'on négligeait l'étude de la stratification : ce sont les sources salées les plus anciennes de l'Amérique septentrionale. A la partie supérieure du grès de Médina, M. Hall signale l'existence de ces rides (*ripple marks*) dues à l'action des eaux, sur les bas-fonds ou le littoral de la mer.

10. *Groupe de Clinton*. — Ce groupe comprend des roches de composition assez différente. Près d'Utica, où nous l'avons vu pour la première fois, il nous a présenté un grès rouge rempli de petits trilobites, *Agnostus latus* Hall. A Rochester, les bords de la rivière Genessee, profondément excavés, exposent une très belle coupe du groupe de Clinton. Les couches, en allant de haut en bas, sont dans l'ordre suivant :

1. Argiles schisteuses renfermant des bancs calcaires avec *Terebratula hemisphærica*, environ 12 pieds.
2. Argiles schisteuses vertes 15 à 20 pieds.
3. Calcaire à *Pentamerus oblongus* . . . 3 ou 4 pieds.
4. Roche de fer oolitique 4 ou 4 1/2 pied.
5. Argiles schisteuses vertes 23 pieds.

La couche de fer oolitique, quelque mince qu'elle soit, a une constance remarquable et peut être suivie sur une distance de 160 kilomètres. Elle donne lieu à plusieurs exploitations. Le groupe de Clinton est assez riche en fossiles. Le plus remarquable par son abondance et sa vaste distribution, tant en Amérique qu'en Europe, est le *Pentamerus oblongus*; puis vient la *Terebratula hemisphærica*. Ce groupe semble être la limite supérieure des Graptolites, qui n'y sont représentés que par une petite espèce, si abondante dans certaines couches qu'elle y laisse une matière charbonneuse colorant la surface en noir. M. Hall signale encore beaucoup d'autres fossiles, parmi lesquels nous citerons la queue d'un *Hemicrypturus*, voisin de l'*Asaphus expansus*, les *Leptæna depressa*, *L. elegantula* ou *sericea*, *Chonetes cornuta* Hall, *Terebratula reticularis*, *T. congesta* Conr., *Spirifer bra-*

chynota (fragment assez analogue au *S. lynx*) et des *Tentaculites*.

11. *Groupe de Niagara*. — Le groupe de Clinton est régulièrement surmonté par les argiles et les calcaires de Niagara, groupe presque aussi important que celui de Trenton, et qui mérite comme lui la plus grande attention. C'est la roche qui donne naissance à la célèbre cataracte de Niagara. La partie supérieure de l'escarpement d'où les eaux se précipitent est un calcaire bleuâtre, légèrement siliceux et magnésien, qui contient quelques géodes de gypses; la partie inférieure est composée d'argiles schisteuses dont l'érosion peut expliquer la retraite, si lente d'ailleurs, de la cataracte. A Niagara même, cet ensemble de couches contient peu de fossiles, mais à Lockport et à Rochester on en trouve un très grand nombre, surtout dans les parties argileuses. Parmi les plus intéressants nous citerons les suivants : *Phacops limulurus* Green, *Bumastus Barriensis*, *Homalonotus delphinocephalus*, *Orthoceratites annulatus*, *Spirifer Niagarensis* Conr., *S. cyrtæna*, *S. sulcatus*, *S. crispus*, *S. bilobus* Linné, *Orthis elegantula*, *O. hybrida*, *Leptæna depressa*, *L. transversalis*, *Terebratula reticularis*, *T. nitida* Hall, *T. cuneata*, *Caryocrinus ornatus*, *Hypanthocrinites decorus* Phill., *Cyathocrinites pyriformis* Phill. Tout ce groupe, déjà assez puissant à Niagara et qui augmente encore d'épaisseur vers les grandes plaines de l'O., s'amincit au contraire et disparaît dans la partie orientale de l'État de New-York. A Schoharrie, par exemple, le calcaire de Niagara manque, ainsi que les groupes de Clinton et d'Onondaga, et les n^{os} 6 et 13 de notre tableau (voir p. 4) se trouvent en contact. C'est ici que les géologues de New-York ont placé la limite supérieure de la division Ontario, et cette limite est aussi celle que nous adoptons pour les États de l'O.; mais dans l'État de New-York, là où se développent les groupes inférieurs de la division Helderberg, nous les réunissons à la division Ontario, ainsi qu'on le verra plus tard, pour avoir un ensemble de dépôts analogues par leurs fossiles à l'étage silurien supérieur d'Europe.

12. *Groupe salifère d'Onondaga*. — Au-dessus des calcaires de Niagara se développe une masse considérable d'argiles schisteuses et de marnes comprenant, d'après les auteurs de la Géologie de New-York, des bancs ou amas de gypse, des calcaires impurs, concrétionnés, souvent argileux et quelquefois poreux et magnésiens. Elle doit contenir aussi du sel, car elle donne naissance à un grand nombre de sources salées. Au point de vue économique, c'est un dépôt d'une grande importance, puisqu'il contient tous les gypses et tous les sels exploitables de la partie occidentale de l'État

de New-York. Au point de vue de la science, il vient confirmer un fait presque général en Europe, celui de l'association du gypse, du calcaire magnésien et des sources salifères. Quant aux fossiles, il est très pauvre, comme tous les dépôts de cette nature, et n'a fourni aux observateurs que quelques moules de coquilles mal conservés. Malgré sa puissance qui, bien qu'imparfaitement connue, est au moins de 7 à 800 pieds, ce groupe est presque limité à la partie occidentale de l'État de New-York. Il s'étend à peine dans le Canada au-delà de la rivière Niagara, et manque complètement à l'O., dans les États d'Ohio, d'Indiana et du Kentucky, etc.

13, 14, 15 et 16. *Calcaire hydraulique*. *Calcaire à Pentamerus galeatus*. *Argile à Delthyris*. *Calcaire supérieur à Pentamères*. Ces quatre étages ayant peu d'épaisseur et présentant la même distribution géologique, nous croyons devoir les réunir en un seul.

Le nom de *calcaire hydraulique* ou *waterlime*, très défectueux en lui-même, puisque l'on trouve en Amérique de la chaux hydraulique à d'autres étages, a été appliqué à un calcaire peu épais et bleuâtre. A Schoharrie, ce calcaire, mêlé de parties plus argileuses, et stratifié en couches minces, peut avoir 20 ou 25 pieds d'épaisseur. Plusieurs des couches sont couvertes de *Tentaculites* et de *Cythérines*; les premiers, tous dirigés dans le même sens, semblent avoir pris cette position sous l'influence de courants sous-marins, à l'époque de leur dépôt. Les fossiles caractéristiques sont le *Tentaculites ornatus* Sow., la *Terebratula sulcata*, voisine de la *T. canalis* Sow., la *Cytherina alta* Conr., l'*Eurypteras remipes* Dekay, et un grand *Phragmoceras*, assez voisin du *P. ventricosum* de Ludlow.

Le *calcaire à Pentamères* qui surmonte le calcaire hydraulique s'en distingue par l'épaisseur de ses bancs, la compacité de la roche qui la rend susceptible de former des escarpements verticaux sur les flancs des vallées. Il n'a que 12 à 15 pieds d'épaisseur aux environs de Schoharrie, mais selon M. Vanuxem, il atteint quelquefois jusqu'à 80 pieds. Les fossiles caractéristiques sont : le *Pentamerus galeatus*, l'*Evomphalus profundus* Conr., les *Avicula monticula* et *naviformis*, Conr., et une singulière encrine, voisine des cystidées, appelée par M. Conrad *Lepocrinites Guehardi*.

Au-dessus de ce calcaire, viennent les argiles ou calcaires argileux à *Delthyris*, d'une épaisseur d'environ 30 à 40 pieds. On y voit apparaître un assez grand nombre d'espèces du genre *Acroculia* Phill. (*Platyceras* Conr.), qui manque dans l'étage silurien inférieur et qui est encore très rare dans le groupe de

Niagara. Parmi les autres fossiles nous signalerons les espèces suivantes : *Phacops Hausmanni* Brongn., *Asaphus nasutus* Conr., *Platyceras ventricosum* Conr. (1), *P. Guebhardi* Conr., *Leptaena depressa*, *Leptaena punctulifera* (voisin du *L. miranda* Barr.), *Spirifer macropleurus* Conr., *S. pachyopterus* Conr., *S. bilobus* Linné, *Terebratula deflexa* Sow., ou espèce très voisine, *Atrypa inflata* Conr., voisine de l'*A. sphaerica* Sow., *Atrypa æquiradiata* Conr., *Terebratula reticularis*, *Orthis hybrida*, *Orthis* voisine de l'*O. occlusa* Barr., *Millepora repens* et autres petits polypiers. Plusieurs de ces espèces existent dans le groupe de Niagara.

Le calcaire supérieur à *Pentamères* ne se distingue de l'étage précédent que par la nature plus compacte de la roche et par quelques fossiles qui s'ajoutent à ceux des couches sous-jacentes, tels qu'un *Pentamère* lisse, voisin du *P. galeatus* qui se trouve dans le calcaire dévonien de l'Eifel et probablement aussi dans les couches siluriennes de la Bohême.

Les quatre étages dont nous venons de parler forment la partie inférieure de ce que les géologues de New-York appellent la série d'Helderberg ; c'est dans ces montagnes et dans le voisinage de Schoharrie qu'ils sont le mieux développés. En contact immédiat avec le groupe de la rivière d'Hudson (*Hudson river group*), ils semblent y remplacer les couches de Niagara. Lorsqu'on les suit vers l'O., on les voit s'atténuer et disparaître là où celles-ci se développent.

17. Grès d'Oriskany. — C'est un grès quarzeux qui, dans l'État de New-York, n'a jamais plus de 30 pieds d'épaisseur, et qui se réduit souvent à trois ou quatre. Il est rempli de fossiles, et son importance n'est pas due seulement à cette circonstance, mais encore à ce qu'il se prolonge jusque dans les États de Pennsylvanie et de Virginie, où il acquiert une puissance de 300 pieds ; il manque au contraire à l'O. de l'État de New-York et dans tout l'espace compris entre les limites de cet État et le Mississipi. Selon M. Hall, ce grès semble avoir été déposé dans des dépressions dues, soit à des inégalités naturelles de la surface des roches préexistantes, soit à des dénudations. Les fossiles y sont toujours à l'état de moule, excepté dans les endroits où la roche est légèrement calcaire. Les plus communs sont de grandes *Acroculia* et les *Spirifer cultrijugatus* Roemer ; *S. macropterus* Roemer ; *S. arenosus* Conr. ; *Atrypa elongata* Conr. ; *A. peculiaris* Conr. ; *Orthis unguiformis*

(1) Le genre *Platyceras* de Conrad n'est autre que le genre *Acroculia* de Phillips.

Conr. (*Hipparionix proximus* Vanux.). Le genre *Spirifer*, qui n'existait pas réellement avant le groupe de Clinton, et qui, soit dans ce sous-étage, soit dans les suivants, n'est représenté que par de petites espèces, prend ici un développement particulier et offre des espèces qui, par leur taille, ainsi que par leurs plis nombreux, se rapprochent du type dévonien et carbonifère.

18 et 19. *Grès à queue de coq et grès de Schoharrie*. — Ces deux groupes ont si peu d'épaisseur que nous croyons devoir les réunir; ce sont l'un et l'autre des grès bruns à grains fins et très calcaireux. Par l'action de l'atmosphère, le calcaire est entraîné, et la roche devient poreuse. Le premier de ces grès est caractérisé par des impressions énigmatiques en forme de queue de coq, et que l'on rapporte à quelque genre inconnu de plantes marines; le second mérite d'être signalé d'une manière toute spéciale comme le point le plus bas où l'on connaisse en Amérique le type des poissons dévoniens. M. John Guebard de Schoharrie y a trouvé un fragment d'*Asterolepis*, que nous avons vu dans sa collection. Dans les mêmes couches apparaît aussi le genre *Pleurorynchus*, avec des dimensions qui rappellent les espèces carbonifères. Les autres fossiles sont : le *Phacops macrophtalmus*, le *P. laticostatus* Green; un grand *Cyrtocère* analogue à une espèce de l'Eifel, des *Orthocératites* à anneaux transverses, et, selon M. Hall, un assez grand nombre de polypiers. Cette roche n'a que 8 à 10 pieds à Schoharrie, et ne s'étend pas loin vers l'O.

20 et 21. *Calcaire d'Onondaga et calcaire cornifère*. — Ces deux calcaires, presque toujours associés et difficiles à distinguer l'un de l'autre, nous paraissent devoir être réunis en un seul groupe, aussi important par l'étendue qu'il occupe que les groupes de Trenton et de Niagara. Dans toute la partie occidentale de l'État de New-York, où manquent les nos 13 à 19 de la division d'Helderberg, le calcaire d'Onondaga repose immédiatement sur le groupe salifère. Il est gris, plus ou moins cristallin, et renferme beaucoup d'Encrines et de grandes espèces de polypiers qui ont construit à cette époque des récifs à peu près semblables à ceux qui s'élèvent encore dans nos mers tropicales. Les plus communs sont : les *Favosites Gothlandica* et *alveolaris*, *F. fibrosa*, *F. favosa* Goldf., des *Lithodendron* et de grands *Cyathophyllum*. Ces polypiers sont souvent à l'état siliceux et se dessinent en relief sur le calcaire. A Caledonia, selon le colonel Jewett de Lockport, on y trouve aussi des Caténipores (1).

(1) Ce point serait essentiel à bien établir; car, en Europe, on ne

Le *calcaire cornifère*, par sa structure compacte, forme souvent comme la roche précédente, des escarpements verticaux et des cascades; il contient beaucoup de nodules siliceux ou pierres de corne. A Auburn, nous l'avons vu exploité sur une grande échelle comme pierre à bâtir. Au point de vue paléontologique, il se distingue du précédent par l'absence des encrines et des polypiers. Ses fossiles principaux sont : les *Calymene crassimarginata* Hall; *Odontocephalus selenurus* Cour; *Phacops macrophthalmus*; *Cyrtoceras undulatum* Hall, et plusieurs autres Cyrtocères analogues à ceux du Devonshire; *Platyceras dumosum*; *Chemnitzia nexilis*; *Acroculia erecta*, Hall; un grand *Pleurorhynchus* assez semblable à celui du grès de Schoharrie; *Pterinca cardiiformis*, Hall; *Leptaena depressa* et *Terebratulula reticularis*. Ces deux calcaires n'ont pas ensemble beaucoup plus de 40 à 50 pieds.

22, 23, 24 et 25. *Schiste de Marcellus, groupe de Hamilton, calcaire de Tully, et schiste de Genessee.* — C'est un trait distinctif du terrain paléozoïque de New-York, d'être calcaire à sa base et schisteux ou arénacé à sa partie supérieure. En effet, nous allons voir se développer, à partir du dernier groupe jusqu'au système carbonifère, une masse énorme de schistes et de psammites presque entièrement privés de calcaire. C'est ce qui nous paraît avoir déterminé les géologues de New-York à placer ici la limite entre les divisions *Helderberg* et *Erie*. L'étendue géographique du calcaire cornifère semble donner à cette limite une grande importance; mais, outre qu'elle ne correspond à aucune limite des grandes divisions européennes, son importance, même en Amérique, est considérablement diminuée, s'il est vrai, comme nous le pensons, que le calcaire cornifère des États de l'O. représente à la fois le calcaire cornifère et le groupe de Hamilton de celui de New-York.

Le premier terme de la série qui nous occupe est un schiste noir, très bitumineux, de 40 à 50 pieds d'épaisseur, contenant encore quelques couches ou concrétions calcaires. C'est principalement dans ces concrétions que se trouvent les fossiles. Bien que peu nombreux, on y remarque l'apparition de deux genres importants que l'on n'a pas encore trouvés plus bas dans l'État de New-York, les *Goniatites* et les *Productus* (1). Les premières espèces de *Goniatites* ont, comme on devait s'y attendre, le lobe dorsal

connait pas de Caténipores dans les couches dévoniennes inférieures, que nous considérons comme parallèles à celles d'Onondaga.

(1) Dans l'Ouest, ces genres se rencontrent dans le calcaire cornifère.

simple et un seul lobe latéral arrondi ; c'est le type des *Goniatites* de Wissenbach , dans le duché de Nassau. Les schistes de Marcellus en renferment plusieurs espèces, dont l'une, le *G. expansus* Vanux., semble être identique avec le *G. Næggerathi* Buch. Avec ces *Goniatites*, se présentent aussi de véritables *Nautiles*, genre presque inconnu auparavant. Le *Productus* des schistes de Marcellus paraît appartenir au type dévonien.

Ces couches passent par degrés à d'autres schistes de couleur olive, dont la masse constitue ce que l'on appelle le groupe de *Hamilton*. Ce dépôt, qui, à l'E. de l'État de New-York, atteint une épaisseur de près de 1,000 pieds, s'amincit vers l'O., comme la plupart des groupes supérieurs au calcaire de Niagara ; il perd ses parties arénacées et devient entièrement schisteux. Si l'on en juge par l'abondance des acéphales lamellibranches que l'on rencontre dans ces schistes, on reconnaît que les mers à fond vaseux convenaient au développement de ces animaux ; les *Avicules*, rares dans les dépôts plus anciens, n'y présentent pas moins de 15 à 16 espèces. Les trilobites, au contraire, y décroissent d'une manière très sensible, et sont réduits à 3 ou 4 espèces : *Dipleura Dekayi*, Green ; *Phacops macrophthalmus* et *Cryphæus calliteles* Green. Les *Goniatites* sont représentées par deux espèces, dont l'une, le *G. uniaugularis* Conr., a des cloisons plus compliquées que la plupart des espèces des schistes de Marcellus. Parmi les acéphales si nombreux dans ce groupe, nous citerons comme particulièrement abondants les *Microdon bellastriata* Conr. ; *Avicula orbiculata* Hall ; *A. flabella* Conr. ; *Orthonota undulata* Conr. ; *Cardium loricatum* Goldf. ; *Terebratula reticularis* et *aspera* (grande variété), *T. concentrica*, *Orthis umbonata* Conr. ; *Productus subaculeatus* Murch. ; *Leptæna Dutertii* Murch. ; *Spirifer mucronatus* Conr. ; *S. granuliferus* Hall. Quelques couches calcarifères, au milieu du groupe d'Hamilton, sur le lac Skeneateles, sont entièrement remplies de *Cystiphyllum* et de *Cyathophyllum*, parmi lesquels se trouve le *C. cylindricum* Lonsd.

Le calcaire de Tully n'est qu'une bande de 8 à 15 pieds d'épaisseur qui renferme, comme fossiles caractéristiques, la *Terebratula cuboides* Sow., et l'*Orthis striatula* Schlot. Ce calcaire, recherché pour les besoins de l'agriculture, est surmonté par un schiste noir (*Genessee slate*) qui, à part sa position stratigraphique, se distingue à peine du schiste de Marcellus. Il renferme peu de fossiles, si ce n'est l'*Orbicula Lodensis* Hall, la *Lingula spathulata* Hall, et le *Chonetes setigera* Hall, qui lui est commun avec les schistes de Marcellus. L'épaisseur de ce sous-étage est d'environ 150 pieds.

26 et 27. *Groupes de Portage et de Chemung.* — Ces deux groupes ont entre eux la plus grande ressemblance minéralogique, et offrent une succession non interrompue de dépôts argileux et sableux d'une très grande épaisseur, les premiers dominant principalement vers la base. Le *groupe de Portage*, près des cascades de ce nom, forme des escarpements de 300 à 350 pieds, entre lesquels coule la rivière Genessee. Les strates y sont horizontales, et composées d'un psammite ou grès argileux micacé, à grains très fins. L'épaisseur de tout le groupe est d'environ 1000 pieds. Ses principaux fossiles sont les *Goniatites retrorsus* Buch.; *G. sinuosus* Hall.; *Bellerophon striatus* Ferr.; *Cyathocrinus ornatissimus* Hall.

Le *groupe de Chemung* de 1500 pieds d'épaisseur présente, en général, une succession d'argiles schisteuses et de grès argileux, variant de structure, suivant les diverses proportions de sable ou d'argile. A Ithaca, à l'extrémité méridionale du lac de Cayuga, les escarpements sont composés de grès argileux et de grauwackes, de couleur plus foncée que les couches de Portage. Les fossiles, plus abondants que dans l'étage précédent, ont perdu leur têt, et n'ont laissé que leur empreinte ou leur moule. Selon M. Hall, il y a autant de brachiopodes, et plus d'Avicules (1) encore que dans le groupe d'Hamilton. Peu d'espèces leur sont communes. Les trilobites, déjà assez rares dans ce dernier, le deviennent plus encore ici, et nous doutons même qu'on y en ait trouvé. Cependant rien ne serait plus naturel, puisque cette famille a encore des représentants dans le système carbonifère. La seule Goniatite qui ait été citée dans le groupe qui nous occupe, le *G. Chemungensis*, est remarquable par le grand nombre de ses lobes latéraux, qui indique, pour ce point de l'organisation, une complication en rapport avec l'âge relatif des dépôts. On y trouve un assez grand nombre de brachiopodes, tels que : *Spirifer Verneuili* Murch.; *S. mesaerialis* Hall.; *Læptena interstitialis* Phill.; *Terebratula reticularis* et *Productus subaculeatus* ou *membranaceus*. La rareté du calcaire explique suffisamment le petit nombre de polypiers signalés dans les groupes de Portage et de Chemung; les fucoides, au contraire, y sont abondants.

Pour terminer cette revue rapide de la série paléozoïque de l'É-

(1) Le nombre des *Avicula* et des *Pecten* croît à mesure qu'on s'élève dans les couches paléozoïques. Ce n'est pas sans étonnement que l'on voit deux genres, déjà si florissants aux époques dévonienne et carbonifère, arriver jusqu'à nous sans perdre de leur importance, et en laissant dans chaque terrain de si nombreux représentants.

tat de New-York, il ne nous reste qu'à dire quelques mots des masses puissantes de vieux grès rouge qui forment les montagnes de Catskill, et qui, se prolongeant le long des frontières de la Pennsylvanie, pénètrent dans l'intérieur de cet État. Cet étage, de plus de 2000 pieds d'épaisseur, se compose d'alternances de grès et d'argiles schisteuses, contenant des parties endurcies et cimentées par du calcaire, où l'on trouve quelquefois des fragments de poissons analogues à ceux du vieux grès rouge d'Écosse et de Russie, tels que l'*Holoptichus nobilissimus*.

Le système carbonifère n'existe pas dans l'État de New-York, et la série se termine par les roches précédentes, que l'on voit s'enfoncer sous les dépôts carbonifères de la Pennsylvanie.

Si l'on embrasse d'un seul coup d'œil l'ensemble du terrain paléozoïque de l'État de New-York, on peut saisir quelques traits généraux que nous ne ferons qu'indiquer ici, avant de passer à l'étude de ce même terrain dans les États de l'Ouest. Un fait essentiel qui frappe tout d'abord, c'est que les couches y étant horizontales et concordantes, les êtres organisés présentent, sous la seule influence du temps, des modifications successives telles, que la plupart des groupes ou sous-étages sont caractérisés par des espèces propres aux diverses couches dont ils se composent, et par d'autres moins nombreuses qui les rattachent aux groupes supérieurs et inférieurs. La disposition des matières minérales donne lieu aussi à des considérations importantes. La prédominance des grès et des schistes dans la partie orientale de l'État de New-York semble indiquer que c'était de ce côté qu'existait le continent, dont les fleuves et les côtes fournissaient aux sédiments les éléments dont ils sont composés (1). Cette vue n'a pas échappé aux géologues américains, et ce qui vient encore la confirmer, ce sont les fucoides et les rides, ou *ripple marks*, dont la surface des couches est souvent couverte, témoins irrécusables du voisinage des bas-fonds et des rivages. Ce qui est important, c'est que ces fucoides et ces *ripple marks* s'observent à tous les étages, depuis le grès de Postdam jusqu'au groupe de Portage; de sorte qu'il devient incontestable que toute la masse du terrain paléozoïque, quelque épaisse qu'elle soit, a été déposée dans une mer peu pro-

(1) Comment ce grand continent n'a-t-il pas fourni aux sédiments formés sur son littoral des débris d'animaux ou de végétaux terrestres? C'est ce dont on ne saurait trop s'étonner. Les premières plantes terrestres analogues à celles de l'étage carbonifère n'apparaissent que dans le groupe de Chemung, et elles y sont très rares.

fonde, dont le fond probablement se déprimait successivement pour recevoir de nouveaux sédiments. Que devient alors l'opinion de certains géologues qui pensent que tous les dépôts siluriens se sont faits dans des mers très profondes, et qui attribuent à cette circonstance plutôt qu'à l'action du temps les différences qui distinguent la faune silurienne de celles qui l'ont suivie?

*Composition du terrain paléozoïque dans les États d'Ohio ,
du Kentucky et d'Indiana.*

Entre le grand bassin houiller qui occupe une partie de la Pennsylvanie et de l'Ohio, et celui des Illinois, s'élève un axe anticlinal qui les sépare, et qui fait affleurer toutes les couches plus anciennes jusqu'à l'étage inférieur du système silurien. Ce n'est pas un axe de véritable dislocation; les couches continuent de rester sensiblement horizontales, leur pente n'étant que de 15 à 16 pieds par kilomètre; mais cette pente se faisant en sens contraire des deux côtés d'une ligne à peu près N.-S., qui passe par Cincinnati, suffit pour amener au jour, sur une grande étendue et par larges bandes, les parties inférieures du terrain paléozoïque. Rien n'est plus intéressant, quand on s'est familiarisé avec la série des roches et des fossiles de l'État de New-York, que de se transporter à 150 ou 200 lieues à l'O., d'observer les changements considérables que cette série y présente, et d'en rechercher la cause; c'est ce que nous allons faire de la manière la plus succincte (1).

(1) Nous recommanderons aux personnes qui désireraient plus de détails sur ce sujet la lecture de deux Mémoires très intéressants de M. J. Hall, l'un sur l'identité des formations de l'O. des États-Unis avec celles de l'État de New-York, imprimé dans les *Transactions de la Société géologique de Pennsylvanie*; l'autre sur la nature des strates et la distribution géographique des fossiles dans les formations anciennes des États-Unis, inséré dans le *Journal d'Histoire naturelle de Boston*, vol. V. Nous avons eu l'occasion de reconnaître l'exactitude des observations de cet habile géologue et nous ne différons d'opinion avec lui, que sur l'âge et les véritables équivalents des schistes noirs bitumineux et de la masse principale des psammites micacés qui les surmontent, dans les États d'Ohio, d'Indiana et du Kentucky.

Tableau des groupes qui composent le terrain paléozoïque dans les États d'Ohio, du Kentucky et d'Indiana (1).

Système carbonifère.	{	8. Grès, schistes et calcaires houillers.
		7. Calcaire carbonifère.
		6. Psammites micacés à grains fins.
Système dévonien.	{	5. Schistes noirs bitumineux.
		4. Calcaire coquillier et calcaire à coraux supérieur.
Système silurien (étage supérieur).	{	3. Calcaire siliceux ou magnésien (<i>cliff limestone</i>).
Système silurien (étage inférieur).	{	2. Calcaire et marnes bleues.
		1. Calcaire compacte.

Nous allons parcourir rapidement ces divers groupes, en commençant par les plus anciens.

1. *Calcaire compacte*. — La couche la plus inférieure que l'on voie affleurer dans ces contrées (2) est un calcaire gris ou jaunâtre, compacte, ayant une certaine ressemblance avec du marbre, et qui existe, dit-on, dans les environs de Francfort en Kentucky. C'est le seul représentant des couches inférieures au calcaire de Trenton. Plus au S., vers la chaîne des Alleghanys, des grès se montrent dans cette position.

2. *Calcaire bleu*. — C'est, en général, le dépôt le plus inférieur que l'on puisse atteindre, et sa puissance, dans les environs de Cincinnati, est au moins de 5 à 600 pieds. De grandes masses de marnes calcaires bleues y alternent avec des calcaires de même couleur, stratifiés en bancs assez minces. Ces couches renferment une très grande quantité de fossiles qui offrent un mélange d'espèces nouvelles et d'espèces caractéristiques du calcaire de Trenton, du groupe d'Utica, et de celui de la rivière Hudson. Le calcaire et les marnes bleues représentent donc dans l'Ouest trois des subdivisions du terrain paléozoïque de New-York, et les schistes si épais, qui composent le groupe de la rivière Hudson, ont entièrement disparu.

(1) C'est à MM. Dale Owen, Mather, Locke, Hildreth et Foster qu'on doit la connaissance de la constitution géologique de ces États.

(2) Selon M. Dale Owen, dans l'État du Wisconsin, on voit affleurer au-dessous du calcaire bleu un calcaire magnésien assez épais, renfermé entre deux masses de grès. Le grès inférieur est blanc, friable comme un grès tertiaire ou comme le grès silurien inférieur de Saint-Pétersbourg; il occupe en réalité la place du grès de Postdam. Le calcaire magnésien rappelle beaucoup celui qui surmonte le calcaire bleu, et ne s'en distingue que par l'absence de tout débris organique.

3. *Calcaire siliceux et magnésien (Cliff limestone)*. — Entre le groupe précédent et celui-ci s'interpose en certains endroits, comme à Dayton (Ohio), un calcaire jaune dont les fossiles présentent un mélange des espèces qui caractérisent les deux grands étages du système silurien. En effet, avec l'*Illænus crassicauda* et le *Leptaena alternata* Conr., M. van Cleve y a découvert le *Phacops limulurus* ou *caudatus*, et le *Ptilodictya lanceolata*. Le *Cliff limestone* proprement dit est ordinairement siliceux à la base et se transforme peu à peu en un véritable calcaire magnésien. Il contient une quantité prodigieuse de *Pentamerus oblongus* et de *Catenipora escharoides* à sa partie inférieure, puis quelques uns des fossiles de Niagara à la partie supérieure. Il représente donc, dans son ensemble, les groupes de Clinton et de Niagara, devenus plus calcaires et plus magnésiens dans leur prolongement occidental. Son épaisseur est aussi beaucoup plus considérable que dans l'État de New-York, car il n'a pas moins de 7 à 800 pieds. En jetant les yeux sur la belle carte géologique des États-Unis par M. Lyell (1), on peut juger de l'étendue immense que cet étage occupe et du rôle important qui lui est assigné, particulièrement dans les États d'Indiana, de l'Ohio, des Illinois et du Wisconsin.

4. *Calcaire à coraux et calcaire coquillier*. — Le *Cliff limestone* des géologues de l'État de l'Ohio se termine, à sa partie supérieure, par deux calcaires que l'on peut assez bien distinguer en certains endroits, l'un, à la prédominance des coraux, et l'autre, à celle des mollusques. Ces deux assises représentent non seulement le calcaire d'Onondaga et le calcaire cornifère de l'État de New-York, mais, à en juger par leurs fossiles, ils correspondent encore à tout le groupe d'Hamilton. Il en est donc de ce dernier massif schisteux, qui dans l'État de New-York a plus de 1000 pieds d'épaisseur, comme des schistes de la rivière Hudson; tous deux, formés près des rivages, n'ont que peu d'extension à l'O., où se déposaient dans une eau plus pure de minces couches calcaires. La partie inférieure du calcaire à coraux renferme des Caténipores, et l'on pourrait se demander si on ne doit pas la réunir à la masse principale du *Cliff limestone* qui, ainsi que nous le dirons bientôt, est l'équivalent de l'étage supérieur du système silurien.

Le groupe qui nous occupe, bien caractérisé dans les États d'Ohio et d'Indiana, s'atténue et disparaît plus à l'O. sur les bords du Mississipi. A Columbus (Ohio), à New-Albany et à Lewis's creek (Indiana), il nous a présenté exactement les mêmes

(1) *Travels in north America*, 2 vol. 1845.

fossiles , et parmi ces fossiles les uns sont identiques avec des espèces du groupe de Hamilton , tandis que les autres ne peuvent être distingués de certaines espèces du calcaire cornifère et de celui d'Onondaga. Dans la première catégorie, figurent les *Phacops macrophthalmus*, *Loxonema nexilis*, *Lucina rugosa* Goldf., *Modiola concentrica* Hall., *Productus subaculeatus*, *Spirifer cultrijugatus*, *S. heteroclitus*, *S. mucronatus*, *Terebratula concentrica*, *T. aspera*; dans la seconde, nous citerons les *Calymene crassimarginata* Hall., *Odontocephalus selenurus* Conr., *Cyrtoceras undulatum* Hall., *Platyceras dumosum* Conr., *Pentamerus elongatus* Vanux., et *Lepæna depressa*.

5. *Schistes noirs bitumineux*. — Nous ne partageons pas l'opinion des géologues qui considèrent ces schistes comme le prolongement de ceux de Marcellus; ils sont plutôt à nos yeux les équivalents des couches de Genessee, puisque les calcaires qui leur sont inférieurs contiennent, ainsi que nous venons de le dire, des fossiles caractéristiques du groupe d'Hamilton. Les schistes noirs de l'O. sont très pauvres en fossiles, et ne renferment pas les *Goniatites* si caractéristiques des schistes de Marcellus; ils nous ont offert, au contraire, une des espèces des schistes supérieurs au groupe d'Hamilton, c'est-à-dire la *Lingula spathulata* Hall. Cette petite coquille a été découverte par M. Dale Owen au pied de *Paradise hill* pendant notre voyage dans l'état du Tennessee. Ces schistes, ordinairement noirs, secs et très finement feuilletés, forment dans les États d'Ohio, d'Indiana et du Kentucky un étage parfaitement caractérisé de 100 à 300 pieds d'épaisseur, qui par sa constance et son uniformité fournit un excellent horizon.

6. *Psammites micacés à grains fins*. — Les schistes noirs sont surmontés par un puissant et important étage de psammites micacés appelés *fine grained sandstone*, ou *Waverley series*, dans les rapports officiels sur la géologie des États de l'Ohio et d'Indiana. Au milieu de ces psammites, et à divers niveaux, se développent, en forme d'amandes, des calcaires chargés d'encrines et contenant quelques fragments de *Productus* et de *Spirifer*. C'est principalement dans les *knobs*, ou collines des environs de Louisville en Kentucky, que nous les avons observés. Dans le Tennessee, les psammites perdent leur partie argileuse et se convertissent en une roche très siliceuse souvent chargée de fer. Les calcaires à encrines s'y développent également, et, sous la conduite du professeur Troost, nous les avons étudiés à *White creek springs*, près de Nashville.

7. *Calcaire carbonifère*. — Tout autour du grand bassin houiller

des Illinois et du Kentucky, se développe, entre les psammites micacées et les grès qui forment la base des couches houillères, un calcaire gris ou jaunâtre, compacte, entremêlé de bandes siliceuses ou de concrétions de silex particulièrement riches en fossiles, et surtout en Rétépores. Ces bandes siliceuses, peu propres à la végétation, donnent lieu quelquefois, dans le Kentucky, à de véritables déserts. C'est dans le calcaire carbonifère qu'existent les principales cavernes des États-Unis, et notamment celle que dans le Kentucky on appelle *Mammoth cave*, à cause de son étendue, qui dépasse 15 kilomètres. Aux environs de Saint-Louis (Missouri), le grand nombre de ces cavernes qui se sont effondrées produit à la surface du sol des dépressions cratériformes, que les habitants désignent sous le nom de *Sink holes*, et dont, au premier abord, on a de la peine à s'expliquer l'origine.

La partie supérieure du groupe qui nous occupe affecte assez souvent une structure oolitique, et est parfaitement caractérisée par les *Pentremites florealis* et *pyriformis*, ainsi que par un polypier très-singulier, que M. Lesueur a nommé *Archimedes*. C'est une espèce de Rétépore dont les expansions rétifformes s'attachent à un axe tordu en forme de vis. Le calcaire carbonifère a ordinairement de 100 à 300 pieds; mais, dans l'État d'Alabama, sa puissance est plus considérable. La présence de ce calcaire à l'extrémité occidentale du grand bassin houiller des Alleghany et l'épaisseur qu'il y acquiert, comparées à son absence totale dans toute la région moyenne et orientale du même bassin, sont d'accord avec les différences si remarquables que l'on observe dans la distribution des matières minérales aux États-Unis, quand l'on se transporte de l'E. vers l'O., et que l'on compare les dépôts de deux points éloignés.

8. *Grès, schistes et calcaires houillers.* — C'est dans cet étage que se trouvent toutes les houilles et tous les anthracites des États-Unis, et il n'en existe pas au-dessous qui soient exploitables. Les couches qui renferment la houille reposent presque toujours sur un grès quarzeux, mêlé de cailloux roulés, qui a la plus grande analogie avec le *millstone grit* d'Angleterre. Elles comprennent un certain nombre de bandes calcaires de peu d'épaisseur (1), lesquelles alternent plusieurs fois avec la houille, et renferment à peu près les mêmes fossiles que le calcaire carbonifère, dont elles se distinguent par une teinte brune foncée.

(1) L'épaisseur réunie de toutes les bandes subordonnées de calcaire varie, selon le professeur Rogers, de 50 à 200 pieds, et augmente en allant de l'E. vers l'O.

L'étage houiller occupe en Amérique trois grands bassins, dont deux sont très riches en combustible. Le plus étendu, celui des Alleghany, n'a pas moins de 1,150 kilomètres de long sur 300 de large. Le second en importance, celui des Illinois, est encore à lui seul presque aussi grand que l'Angleterre proprement dite; les couches y sont partout horizontales et les houilles toujours bitumineuses (1). Le troisième, celui du Michigan, paraît ne contenir que peu de bon combustible. Quant à l'épaisseur, il y a tout lieu de croire que ces grands bassins ne sont pas moins puissants que ceux de la Nouvelle-Écosse, qui, d'après les coupes si détaillées, publiées dans les rapports sur la géologie du Canada, atteignent l'énorme épaisseur de 14,000 pieds (2).

Avec l'étage des schistes et grès houillers se termine le terrain paléozoïque des États de l'O. Lorsque l'on compare sa composition si simple avec celle que nous a présentée l'État de New-York, où manque cependant toute la partie supérieure, on est frappé du caractère général que prend le phénomène déjà observé dans les limites de cet état, et qui consiste en ce qu'en avançant de l'E. à l'O. les formations calcaires deviennent prédominantes aux dépens des formations schisteuses ou arénacées, qui finissent par disparaître presque entièrement. Tel est, en effet, le sort des schistes de la rivière Hudson, des grès et conglomérats d'Onéida, de ceux de Médina, du groupe schisteux d'Hamilton, des groupes de Portage et de Chemung, et enfin du vieux grès rouge. Ces groupes, dont l'ensemble forme plus des trois quarts de l'épaisseur du terrain paléozoïque de New-York, manquent dans l'O. Les termes de la série, que, par opposition à ceux-ci, on pourrait appeler constants, sont les formations calcaires de Trenton, de Niagara, et le calcaire cornifère qui, ainsi que nous le verrons bientôt, correspondent aux étages inférieur et supérieur du système silurien et au système

(1) Comme il n'entre pas dans notre plan de parler ici du métamorphisme, nous rappellerons seulement que, d'après les belles recherches des deux professeurs Rogers, il est démontré que, dans le bassin des Alleghany, les houilles perdent leur bitume progressivement à mesure qu'elles approchent des points de dislocation, et deviennent de véritables anthracites, là où les dislocations ont eu toute leur énergie.

(2) C'est à M. Logan, directeur des travaux géologiques qui s'exécutent dans le Canada par ordre du gouvernement, et l'un des observateurs les plus exacts et les plus consciencieux, que l'on doit la connaissance de ce fait si intéressant. Ses mesures ont été prises sur des couches légèrement relevées, et qui affleurent sur les côtes de la mer, en sorte qu'elles offrent un grand degré de certitude.

dévonien. On voit donc que les formations schisteuses, déposées plus ou moins sous l'influence des rivages, ont moins d'importance que les formations calcaires, et que, pour mettre en parallèle les étages de deux contrées distantes, c'est surtout à celles-ci qu'il faut s'attacher.

Nous ne terminerons pas cet aperçu, sans faire remarquer combien la prédominance du calcaire dans le terrain paléozoïque des États-Unis, surtout vers sa base, contraste avec la composition du même terrain en Angleterre, où, selon les justes expressions du savant professeur Sedgwick, toutes les bandes de calcaire au-dessous de la série carbonifère sont de purs phénomènes locaux qui n'apparaissent qu'à intervalles. Après avoir énuméré rapidement les divers groupes qui composent le terrain paléozoïque, soit dans l'État de New-York, soit dans ceux de l'Ohio et d'Indiana, nous allons maintenant essayer d'établir, au moyen des débris organiques, un parallèle entre les deux rives de l'Océan Atlantique. X

Parallélisme du terrain paléozoïque de l'Amérique du Nord avec celui de l'Europe (1).

Quand on peut suivre sans interruption les couches d'une contrée à une autre, on parvient facilement à les rattacher ensemble et à démontrer comment elles se correspondent. Mais lorsqu'au contraire deux continents sont séparés par une vaste mer, on n'a d'autre moyen que d'étudier dans chacun d'eux une certaine série de couches comprises entre deux points connus et bien déterminés, de comparer leurs fossiles, de rechercher les espèces identi-

(1) Depuis qu'on s'occupe de géologie aux États-Unis, on a cherché à comparer les dépôts sédimentaires de cette contrée avec ceux d'Europe; mais ce n'est que depuis la publication du *Système silurien* de M. Murchison qu'on l'a fait avec quelque succès. Si les limites dans lesquelles nous sommes forcé de nous restreindre aujourd'hui ne nous permettent pas d'apprécier ici les essais tentés dans cette voie par MM. Conrad, Dale Owen, Rogers, Troost, Jackson et par les géologues de l'État de New-York, ce n'est pas que nous en méconnaissions le mérite. Personne, au contraire, plus que nous, et nous éprouvons le besoin de le dire, n'admire les grands travaux publiés dans ces derniers temps par les géologues américains. Il faut louer surtout la sage indépendance avec laquelle ils ont d'abord étudié leur sol sans se préoccuper de l'Europe. Cette partie de leurs travaux est presque toujours irréprochable. Pour ce qui concerne la relation des dépôts sédimentaires dans les deux continents, nous espérons qu'ils nous pardonneront les légers changements que l'étude comparative des fossiles nous engage à proposer.

ques, et de voir si ces espèces sont réparties suivant une même loi. S'il arrive que dans les deux contrées un certain nombre de systèmes caractérisés par les mêmes fossiles se superposent dans le même ordre, quels que soient, d'ailleurs, leur épaisseur et le nombre de groupes physiques dont ils se composent, il est philosophique de considérer ces systèmes comme parallèles et comme synchroniques. C'est précisément ce que nous allons faire ici. Les coupes des dépôts sédimentaires que nous comparerons dans les deux pays comprennent les plus anciennes couches fossilifères, et s'étendent jusqu'à celles qui renferment la houille. Elles sont donc de valeur égale, et si nous parvenons à établir qu'il existe en Amérique une certaine succession de systèmes ou d'étages disposés comme en Europe et caractérisés par les mêmes fossiles, nous aurons, ce semble, suffisamment prouvé qu'ils sont parallèles.

Une des difficultés principales du sujet naît de ce que, dans l'Amérique septentrionale, le terrain paléozoïque est plus complet qu'en Europe. Nous avons vu, en effet, qu'il se compose d'une série de dépôts concordants entre eux, et qui se lient les uns aux autres de telle sorte qu'il est difficile d'y tracer des divisions tranchées. Il en résulte que les limites qui correspondent à celles des différents systèmes d'Europe doivent, dans certains cas, offrir quelque incertitude; mais cette incertitude a peu d'inconvénients si nous pouvons reconnaître facilement et mettre en parallèle les parties moyennes de chaque système. En effet, le point important, c'est de s'assurer que pendant la période paléozoïque le règne animal a subi, dans les deux continents, des transformations simultanées telles que les espèces identiques occupent des gisements correspondants. C'est là ce qui assure aux caractères paléontologiques cette généralité d'application qui fait leur valeur, et c'est là aussi la partie la plus facile de notre tâche.

La série des dépôts paléozoïques étant, comme nous venons de le dire, plus complète en Amérique qu'en Europe, la comparaison que nous allons essayer de faire pourra éclairer quelques points contestés dans la classification européenne, et fournir certains liens qui nous manquent.

La comparaison de l'Europe et de l'Amérique septentrionale aura encore cet avantage précieux, de déterminer quels sont, parmi les groupes dont se compose chacun de nos systèmes, ou chacune des divisions du premier ordre du terrain paléozoïque, ceux qui ont le plus d'importance par leur constance et la facilité avec laquelle on les reconnaît dans tous les pays. Nous verrons ainsi que ces groupes sont, dans l'étage inférieur du système silurien, les cal-

caires à Orthocératites de Suède et de Russie, dans l'étage supérieur, les calcaires de Wenlock et de Gothland; dans le système dévonien, ceux de l'Eifel, de la Bretagne, du Devonshire, etc., etc.

Système silurien (étage inférieur). — Cet étage est représenté aux États-Unis par les six premiers groupes de la série de New-York. Le grès à Lingules de Postdam est probablement l'analogue du grès à *Obolus* de Russie et des grès inférieurs de la Scandinavie (1). Ce sont dans les deux continents les roches fossilifères les plus anciennes, et, quand on songe à leur antiquité, on s'étonne d'y rencontrer un genre de coquilles qui appartient encore à la création actuelle, ce qui prouverait que les conditions d'existence n'étaient pas alors très différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui.

Le calcaire siliceux, ceux de *Black river* et de *Trenton* sont les équivalents d'une grande partie de l'étage silurien inférieur d'Europe, et ils occupent la même position que les schistes bitumineux et les calcaires à Orthocératites de Suède et de Russie. Les schistes d'Utica et le groupe de la rivière Hudson, avec les Graptolites à leur base, représentent les schistes à Graptolites, qui succèdent en Suède au calcaire rouge à Orthocératites. Ce sont aussi les mêmes que ceux de Bain en France.

Cet ensemble de dépôts renferme en Amérique une très grande quantité de fossiles (2), parmi lesquels nous avons reconnu dix-sept espèces qui, en Europe, se trouvent dans l'étage inférieur du système silurien, savoir : *Calymene Blumenbachii*, *C. Fischeri*, *C. punctata*, *Illænus crassicauda*, *Lichas laciniata*, *Ceraurus pleurexanthemus*, *Trinucleus Caractaci*, *Phacops Dalmani*, *Orthoceratites communis* ou *duplex*, *Lituïtes convolvans*, *Bellerophon bilobatus*, *Spirifer lynx*, *Orthis testudinaria*, *O. Verneuili*, *Stromatopora concentrica*, *Ptilodictya lanceolata* et *Chaetetes Petropolitanus*. A l'exception des *Calymene Blumenbachii*, *C. punctata*, *Spirifer lynx*, *Stromatopora concentrica*, et *Ptilodictya lanceolata*, qui s'élèvent plus ou moins dans les couches supérieures, les espèces que nous venons d'énumérer peuvent être considérées comme caractéristiques de l'étage silurien inférieur dans les deux continents.

(1) Selon le professeur Sedgwick, les plus anciennes roches fossilifères du pays de Galles seraient aussi, comme celles d'Amérique, caractérisées par des Lingules et des fucoïdes. (*Journal of the Geol. Soc.*, vol. III, p. 457.)

(2) Le premier volume de la *Paléontologie de l'État de New-York*, par M. Hall, qui va paraître, sera entièrement consacré à décrire les

Le grand nombre proportionnel des trilobites nous donne l'idée du développement considérable qu'avait déjà pris cette famille, et qui correspond à ce que l'on observe en Europe. Mais outre les identités d'espèces, il y a encore certaines analogies de genres que l'on voit se manifester souvent dans les dépôts de même époque. Nous citerons ici comme exemple le genre *Isotelus* qui représente en Amérique nos *Asaphus* à huit articulations, et qui, comme eux, est propre à l'étage inférieur du système silurien.

Les Orthocératites qui, par leur large siphon latéral vide ou muni d'un tube à l'intérieur, forment un type si remarquable que M. Hall appelle *Endoceras* (1), sont également caractéristiques du système qui nous occupe, soit en Europe, soit en Amérique, et ne paraissent pas avoir prolongé leur existence jusqu'à l'époque silurienne supérieure. Elles sont aussi abondantes dans les couches de Trenton que dans les calcaires à Orthocératites de Suède et de Russie, et nous pensons qu'il doit y avoir plusieurs espèces identiques entre les deux pays, bien que nous n'en ayons encore reconnu qu'une seule.

Les Bellérophons datent aussi des premiers temps de la création, et l'on en trouve à peu près autant en Amérique qu'en Europe. Le plus intéressant pour nous est le *B. bilobatus* du calcaire de Trenton, qui est certainement le même que celui que l'on trouve dans le calcaire silurien inférieur de Christiania, ou dans les grès et schistes contemporains du pays de Galles.

Avec les trilobites et les Orthocératites, les brachiopodes, par leurs formes si variées, sont de tous les fossiles de cette époque, ceux qui contribuent le plus à donner un cachet particulier à la faune primitive du monde. Les *Orthis*, les *Leptaena* et les Térébratules sont les seuls, en Amérique comme en Europe, qui existent dès les premiers temps; les autres genres, tels que les *Spirifer*, les *Pentamerus*, les *Productus*, etc., n'apparaissent que plus tard. Les *Orthis* à plis simples, si répandues en Europe dans les couches siluriennes inférieures, sont représentées en Amérique par les *O. tricenaria* Conr., et *O. pectinella* Emm., toutes deux voisines de

fossiles des groupes qui, selon nous, correspondent à l'étage silurien inférieur d'Europe; il contiendra plus de 80 planches. Le talent et les profondes connaissances de l'auteur disent assez l'intérêt qu'il aura pour la science.

(1) L'*Orthoceratites bisiphonatus* Sow., du grès de Caradoc, appartient sans aucun doute à ce type.

l'*O. calligramma* de Russie et de Suède. Les *Orthis testudinaria* et *Verneuli* sont également caractéristiques de l'étage inférieur du système silurien des deux côtés de l'Atlantique; le *Spirifer lynx*, que nous considérons comme intermédiaire entre les *Spirifer* et les *Orthis*, passe de ce même étage jusque dans le groupe de *Clinton*, et se trouve également en Angleterre depuis les argiles de *Wenlock* jusqu'aux couches siluriennes inférieures. Enfin, parmi les poly-piers, le *Chætetes Petropolitanus* est le seul qui soit très abondant dans tous les pays, sans cesser cependant d'être caractéristique. Le *Stromatopora concentrica* et le *Ptilodictya lanceolata* ne se trouvent pas en Europe avant l'étage supérieur du système silurien.

Le calcaire de *Trenton* est séparé du grès de *Médina* par des masses assez puissantes de grès et de conglomérats sans fossiles. Le grès de *Médina* lui-même en renferme très peu, en sorte que lorsqu'on arrive de nouveau à des couches fossilifères, c'est-à-dire à celles de *Clinton*, les êtres organisés ont subi, dans la suite des siècles, de telles modifications, qu'on ne trouve plus qu'une faune entièrement nouvelle. C'est là une des raisons principales qui nous ont engagé à placer le groupe de *Clinton* dans l'étage silurien supérieur et la ligne de séparation des deux étages au-dessous de la grande masse des grès de *Médina* et d'*Onéida*. En agissant ainsi, nous nous accordons à peu près avec les géologues de *New-York*, et nous pouvons dire que ce qu'ils appellent la *division Champlain*, si l'on en sépare les grès qui la terminent, est l'équivalent de l'étage inférieur du système silurien d'Europe.

Dans les États de l'*Ohio* et d'*Indiana*, la différence entre les groupes de *Trenton* et de *Clinton* est, ainsi que nous l'avons expliqué, beaucoup moins marquée, à cause de l'absence des grès de *New-York*. Le calcaire jaune de *Dayton* (*Ohio*), et quelques couches inférieures du *Cliff limestone*, lient ensemble les deux grandes divisions du système silurien. Ainsi à *Dayton*, avec de véritables espèces de l'étage inférieur, on trouve le *Ptilodictya lanceolata* et des fragments de *Phacops caudatus*, espèces qui, chez nous, sont caractéristiques de l'étage supérieur, tandis qu'à *Springfield* (*Ohio*), avec les *Calymene punctata*, *Bumastus Barriensis*, *Sphærexochus mirus*, *Phacops limulurus* ou *caudatus*, *Spirifer cyrtæna*, *Pentamerus oblongus* et *Cornulites serpularius*, qui sont des espèces siluriennes supérieures, on trouve les *Spirifer lynx*, *Terebratula capax*, et *Calymene Blumenbachii*, du calcaire bleu, qui représente l'étage

silurien inférieur. Aux environs de Galena, sur le haut Mississipi, la ligne de séparation des deux étages est encore plus obscure, et cela tient à ce que la distribution des fossiles n'est pas en harmonie avec les différences minéralogiques. Le calcaire bleu et le calcaire magnésien s'y trouvent bien encore, mais ils ne correspondent plus exactement, comme dans l'État de l'Ohio, aux deux grands étages du système silurien. Le calcaire magnésien s'épaissit aux dépens du calcaire bleu, et à sa base il contient la plupart des fossiles de celui-ci.

Tel que nous venons de le limiter, l'étage inférieur du système silurien a une très grande extension dans l'Amérique du N. ; à partir de l'île d'Anticosti, il suit les bords du Saint-Laurent, passe au N. des lacs Ontario, Huron, Michigan, et aboutit sur le Mississipi, près de Dubuque (Iowa). Au S., il suit de même les contours du grand bassin paléozoïque jusqu'en Alabama. Enfin, au milieu de ce vaste bassin, il forme deux larges îlots, dont Cincinnati et Nashville sont le centre, et qui semblent avoir été lentement élevés au-dessus des eaux de la mer, pendant le dépôt des couches plus récentes.

Système silurien (étage supérieur). — Nous comprenons sous ce titre, avec les grès qui terminent la division Champlain, trois groupes que les géologues de New-York réunissent sous celui de division d'Ontario (*Ontario division*), et nous y joignons une partie de la division d'Helderberg, jusqu'au grès d'Oriskany exclusivement. Cette dernière partie a peu d'importance, étant limitée au territoire de New-York, tandis que les étages de Clinton et de Niagara, qui composent la division d'Ontario, occupent une immense étendue dans les régions occidentales des États-Unis. Si l'on compare ces groupes à ceux qui constituent l'étage silurien supérieur en Europe, on ne saurait douter un instant que le calcaire et les argiles de Niagara ne soient l'équivalent exact des calcaires et argiles de Wenlock et de Gothland, tant le nombre des espèces identiques qu'ils contiennent est considérable. Il en résulte que le groupe de Clinton, avec le *Pentamerus oblongus*, représente la partie tout à fait supérieure du grès de Caradoc, ou un étage intermédiaire entre les couches de Wenlock et celles de Caradoc, tandis que les cinq groupes inférieurs de la division Helderberg représentent les roches de Ludlow. Le *Pentamerus oblongus*, ce fossile si répandu en Amérique et en Europe, y occupe donc toujours à peu près le même niveau, et se trouve partout à la jonction des deux divisions du système silurien ; seulement, en Angleterre, on

le place dans l'étage inférieur, tandis qu'en Amérique il fait plutôt partie de l'étage supérieur (1).

Les espèces identiques entre l'Europe et l'Amérique sont ici plus nombreuses que dans l'étage précédent. Nous avons reconnu les espèces suivantes : *Calymene Blumenbachi*, *C. punctata*, *Phacops Hausmanni*, *P. limulurus*, *Bumastus Barriensis*, *Homalonotus delphinophalus*, *Cheirurus insignis*, *Sphærexochus mirus*, *Agnostus latus*, *Orthoceratites annulatus*, *Bellerophon dilatatus*, *Terebratula cuneata*, *T. deflexa*, *T. marginalis*, *T. reticularis*, *T. aspera*, *T. hemispherica*, *T. tumida*, *T. Wilsoni*, *Pentamerus oblongus*, *P. galeatus*, *Spirifer cyrtæna*, *S. trapezoidalis*, *S. sulcatus*, *S. crispus*, *S. bilobus*, *S. lynx*, *Orthis elegantula*, *O. hybrida*, *Leptæna depressa*, *L. subplana*, *L. transversalis*, *Hypanthocrinites decorus*, *Favosites Gothlandica*, *Porites interstincta*, *Catenipora escharoides*, *Stromatopora concentrica*, *Fungia Gothlandica*, *Cornulites serpularius*, et *Tentaculites ornatus*.

Le nombre des trilobites nous annonce que cette famille était encore florissante à cette époque. Quelques espèces sont assez rares et limitées à des groupes de peu d'épaisseur, qu'elles caractérisent avec beaucoup d'exactitude; telles sont les *Phacops Hausmanni*, *Sphærexochus mirus*, et *Cheirurus insignis*; qu'on trouve en Bohême et en Irlande. Les Orthocératites sont moins abondantes que dans le système précédent; l'*O. annulatus* est la seule espèce identique que nous ayons observée. Le *Bellerophon dilatatus*, que nous avons découvert à Chicago (Illinois), est une de ces coquilles très caractéristiques de l'étage de Wenlock. Parmi les huit espèces de Térébratules citées ici, les plus intéressantes sont les *T. marginalis*, *deflexa*, *Wilsoni*, *reticularis* et *aspera*. Ces deux dernières, qui apparaissent pour la première fois, ne sont représentées que par une petite variété propre au système silurien. Les deux Pentamères sont parfaitement bien connus; le *P. galeatus*, en Europe, est à la fois silurien et dévonien, tandis qu'en Amérique il est limité au premier système. Les espèces dignes d'attention parmi les *Spirifer*, sont les *Spirifer crispus*, *sulcatus*, *bilobus* et *cyrtæna*, qui sont si abondants dans l'île de Gothland. Le *S. cyrtæna* est le type d'un petit groupe d'espèces toujours très

(1) Dans les États de l'O., le *Pentamerus oblongus* paraît avoir prolongé son existence jusque dans le groupe de Niagara; au moins il est très difficile souvent de distinguer de ce groupe les roches qui le contiennent.

finement striées, avec ou sans plis longitudinaux, auquel appartient aussi le *S. Niagarensis*, et qui est caractéristique de l'étage supérieur du système silurien. Le *S. lynx*, si abondant dans l'étage précédent, devient ici une rareté. Les *Orthis hybrida* et *elegantula* sont bien les mêmes coquilles que nous avons maintes fois trouvées dans l'étage silurien supérieur d'Europe. La première s'élève dans les couches d'Helderberg, que nous comparons aux roches de Ludlow. Parmi les *Leptaena*, il n'y a que le *L. transversalis* qui soit exclusivement propre au système qui nous occupe; le *L. subplana* paraît exister dans les couches dévoniennes de Néhou, en France, et le *L. depressa*, par une exception très rare, traverse tout le terrain paléozoïque.

C'est à l'époque silurienne supérieure, que se montrent, en Amérique comme chez nous, ces grands polypiers capables de construire de véritables récifs, tels que les *Favosites Gothlandica* et *alveolaris*, les Caténipores et le *Porites interstincta*, etc., etc. Cette époque est aussi celle de l'apparition des Tentaculites (1) et de l'extinction des Graptolites. En résumé, sur 40 espèces identiques que l'on trouve dans l'étage supérieur du système silurien en Amérique et en Europe, 32 n'ont vécu ni avant ni après, et établissent la correspondance la plus parfaite entre cette partie du système silurien d'Europe et les couches que nous lui assimilons en Amérique.

Quant à l'étendue géographique de cet étage, elle est au moins égale à celle de l'étage inférieur. Les roches dont il se compose sont particulièrement développées dans la presqu'île du Haut-Canada, dans les États de l'Ohio, d'Indiana, du Tennessee, de l'Illinois, dans les îles du lac Huron, et sur les rives du lac Michigan. L'abondance des calcaires magnésiens y est véritablement remarquable.

Système dévonien. — Ce système comprend les cinq groupes supérieurs de la division d'Helderberg, les six groupes de la division Érie, et enfin le vieux grès rouge. Quelle que soit son épaisseur dans l'État de New-York, il n'est plus représenté dans les États de l'O. que par les schistes noirs, et par le calcaire coquillier et le calcaire à coraux supérieur, tous deux très minces, et formant la partie supérieure du *Cliff limestone*.

Le point où l'on doit placer en Amérique la limite inférieure du système dévonien est assez difficile à déterminer; M. Conrad l'a

(1) En Angleterre, les Tentaculites se trouvent, dit-on, dans le grès de Caradoc, mais non dans les couches tout à fait inférieures du système silurien. M. Salters pense que ce sont des animaux voisins des Dentales.

posée au-dessous du groupe de Portage. Dans notre ouvrage sur la Russie, nous avons cru, d'après certaines considérations, devoir la faire descendre au-dessous du calcaire de Tully. Puis quand, l'été dernier, nous étudiâmes sur place l'ensemble des fossiles du groupe d'Hamilton, et que nous y reconnûmes une partie de ceux de l'Eifel, nous vîmes qu'il fallait comprendre dans le système dévonien les schistes d'Hamilton et de Marcellus. Ce n'était pas assez, et notre voyage dans la partie occidentale des États-Unis nous fournit la preuve que le système dévonien s'étendait plus bas encore. En effet, la partie supérieure du *Cliff limestone*, qui, dans les États d'Ohio et d'Indiana, représente les couches de l'État de New-York appelées calcaire cornifère et calcaire d'Onondaga, contient, soit à Colombus (Ohio), soit à Lewis's creek (Indiana), soit aux rapides de l'Ohio, des poissons analogues à nos poissons dévoniens. Ces fossiles sont associés à des coquilles identiques ou analogues aux espèces que nous trouvons en Europe dans le système dévonien. Ce sont d'abord des *Goniatites* voisines de celles du duché de Nassau, puis les *Murchisonia bilineata*, *Chemnitzia nexilis*, *Lucina proavia*, *L. rugosa*, *Terebratula aspera*, *T. reticularis* (grande variété), *T. concentrica*, *Spirifer heteroclitus*, *S. cultrijugatus*, *Spirifer* voisin du *S. ostiolatus*, *Chonetes nana*, *Productus subaculeatus* et *Pleurodyctium problematicum*. Le calcaire cornifère et celui d'Onondaga doivent donc être rangés dans le système dévonien, et l'apparition dans ces couches, soit à Colombus, soit aux rapides de l'Ohio, du genre *Pentremites*, dont l'existence à l'époque silurienne est très problématique, vient encore confirmer la justesse de cette classification (1). De retour dans l'État de New-York, et en présence d'un fragment de poisson du genre *Asterolepis*, trouvé par M. John Guebard dans le grès de Schoharrie, il nous fallut de nouveau faire descendre la limite inférieure du système dévonien. Mais devons-nous en rester là? ou fallait-il y comprendre encore le grès d'Oriskany? Après beaucoup d'hésitation, nous prîmes ce dernier parti pour deux motifs : le premier, c'est que, suivant l'opinion de M. Hall, le dépôt des grès d'Oriskany semble avoir été précédé d'un violent mouvement des eaux qui aurait dénudé le sol et creusé les dépressions où il s'est accumulé ; le second, c'est que certains fossiles ont encore quelque analogie avec la faune dévonienne, tels que cette masse de grands *Spirifer* tout à fait inconnus dans les véritables roches siluriennes.

(1) Nous ferons observer toutefois que certains *Cyrtocératites* rappellent des formes connues dans les roches de Ludlow

Deux d'entr'eux, dont nous n'avons vu que les moules, nous ont rappelé les *Spirifer cultrijugatus* et *macropterus* des schistes de l'Eifel.

Le système dévonien ainsi constitué, il faut chercher à mettre en parallèle ses divers étages avec ceux d'Europe. Il est incontestable que le grès rouge qui en forme la partie supérieure, et qui est si puissant sur les frontières des États de New-York et de Pennsylvanie, est sur le même horizon que le vieux grès rouge d'Écosse et du pays de Galles. C'est de même une formation locale, plus puissante qu'étendue, et qui ne contient que des restes de poissons. Les groupes de Chemung, Portage, Genessee, Tully et Hamilton, représentent à nos yeux les formations de l'Eifel et du Devonshire; les schistes de Marcellus sont les équivalents de ceux de Wissenbach dans le duché de Nassau, ainsi que le prouvent leurs *Goniatites* de forme si analogue.

Tous les groupes que nous venons d'examiner ne sont pas, dans le système dévonien d'Amérique, ceux qui ont le plus d'importance, puisque la plupart disparaissent en s'avancant vers l'O. Les couches les plus constantes sont le calcaire cornifère et le calcaire d'Onondaga, qui contiennent également plusieurs espèces du calcaire de l'Eifel et du Harz, et doivent être parallèles à sa partie inférieure. Quant au grès d'Oriskany, ainsi que nous venons de le dire, nous sommes porté, d'après le caractère de ses *Spirifer*, à le considérer comme l'équivalent des schistes fossilifères des bords du Rhin (1).

La comparaison que nous venons de faire des divers étages du système dévonien de l'Amérique avec celui de l'Europe donne lieu à plusieurs résultats intéressants : le premier, c'est de lever toute espèce de doute sur la classification des calcaires de l'Eifel, du Harz, etc., en faisant voir la place que leurs équivalents occupent dans la série américaine; le second, c'est de démontrer le peu d'importance de l'étage de Ludlow, représenté seulement par quelques petits groupes qui ne s'étendent guères au-delà des limites de l'État de New-York, et peut-être de celles de la Pennsylvanie (2); le troisième enfin, c'est de prouver que le vieux grès rouge, en Amérique, est plus récent que les schistes et les calcaires qui représentent les dépôts de l'Eifel, du Harz et du Devonshire.

(1) M. Vanuxem les a comparés au grès à Pentamères du Greifenstein (duché de Nassau). Si ce rapprochement est exact, les grès d'Oriskany appartiendraient au système silurien supérieur, les Pentamères du Greifenstein étant très voisins du *P. Knightii*.

(2) L'étage de Ludlow est également assez difficile à reconnaître sur le continent d'Europe.

Les différents groupes du terrain paléozoïque d'Amérique, que nous assimilons au système dévonien d'Europe, ont avec lui un assez grand nombre de fossiles identiques. Nous avons reconnu les espèces suivantes : *Holoptychus nobilissimus*, dents de *Dendrodus*, *Asterolepis*, *Phacops macrophthalmus*, *Cryphæus calliteles*, *Goniatites retrorsus*, *Bellerophon striatus*, *Murchisonia bilineata*, *Chemnitzia nexilis*, *Avicula Damnoniensis*, *Pterinea fasciculata*, *Modiola squammifera*, *Inoceramus Chemungensis*, *Cardium loricatum*, *Lucina proavia*, *L. rugosa*, *Grammysia Hamiltonensis*, *Sanguinolaria dorsata*, *Terebratula cuboides*, *T. reticularis* et *aspera*, *T. concentrica*, *Spirifer mucronatus*, *S. macropterus*, *S. cultrijugatus*, *S. heteroclitus*, *S. Verneuili*, *Orthis striatula*, *O. umbonata*, *O. crenistria*, *Leptæna depressa*, *L. Dutertii*, *L. laticosta*, *Chonetes nana*, *Productus subaculeatus*, *Favosites Gothlandica*, *Porites interstincta*, *Stromatopora concentrica*, *Pleurodyctium problematicum*.

Les caractères communs qui unissent les faunes dévoniennes d'Amérique et d'Europe sont l'apparition de ces grands poissons ganoides, dont la peau était composée de plaques solides à surface chagrinée, et celle des genres *Goniatites*, *Nautiles*, *Pentremites* et *Productus* qui, jusqu'à présent, n'ont pas été authentiquement reconnus dans les dépôts siluriens. La plupart des espèces que nous venons d'énumérer se rencontrent dans les calcaires du Devonshire, de la Bretagne et de l'Eifel, quelques autres dans les schistes qui leur sont inférieurs et qui s'y rattachent; ainsi les *Asterolepis*, les *Phacops macrophthalmus*, *Bellerophon striatus*, *Murchisonia bilineata*, *Chemnitzia nexilis*, *Inoceramus Chemungensis*, *Cardium loricatum*, *Lucina proavia*, *L. rugosa*, *Sanguinolaria dorsata*, *Terebratula cuboides*, *T. reticularis* et *aspera*, *T. concentrica*, *Spirifer cultrijugatus*, *S. heteroclitus*, *S. Verneuili*, *Orthis striatula*, *O. crenistria*, *Leptæna depressa*, *L. Dutertii*, *Stromatopora concentrica*, se trouvent dans les calcaires dévoniens de l'Eifel, de la Belgique et du Boulonnais, le *Goniatites retrorsus* dans ceux de Nassau, le *Cryphæus calliteles*, l'*Orthis umbonata*, le *Leptæna laticosta* à Gahard en Bretagne, le *Chonetes nana* dans le système dévonien de Russie, enfin les *Grammysia Hamiltonensis*, *Pterinea fasciculata*, *Spirifer macropterus* et *Pleurodyctium problematicum* appartiennent aux schistes et grauwackes des bords du Rhin (1).

(1) La présence de ces espèces fournit un argument en faveur de l'opinion de M. Roemer, qui considère ces schistes comme appartenant encore au système dévonien.

Le système dévonien occupe dans l'État de New-York une surface plus considérable que le système silurien. Comme il est principalement composé de schistes et de psammites qui, ainsi que nous l'avons dit, se perdent et disparaissent à l'Ouest, il en résulte que dans les États de l'Ohio, d'Indiana et du Kentucky, il se réduit aux schistes noirs qui font suite aux schistes de Genessee (*Genessee slate*), et à une bande calcaire qui représente à la fois le calcaire cornifère, celui d'Onondaga et le groupe d'Hamilton de l'État de New-York. Enfin, il disparaît entièrement sur les bords du Mississippi, où le système carbonifère paraît reposer directement sur les couches supérieures du système silurien.

Système carbonifère. — De toutes les divisions principales dont se compose le terrain paléozoïque d'Amérique, le système carbonifère est celui qui est le mieux caractérisé, et qui a le plus de caractères communs avec les dépôts européens de la même époque (1). Il renferme deux ou trois étages, suivant qu'on le considère dans les États de l'E. ou de l'O. de l'Union américaine. Il commence inférieurement par un psammite micacé qui ressemble tellement aux roches du groupe de *Portage*, qu'il leur a été complètement assimilé (2). Les géologues qui ont essayé de mettre en parallèle les terrains d'Amérique avec ceux d'Europe avaient donc rapporté au système dévonien ces psammites, si bien connus, dans les États de l'Ohio et d'Indiana, sous le nom de *fine grained sandstone* ou de *Waverley series*. Les recherches que nous avons faites au S. de Cleveland, dans l'État de l'Ohio, les fossiles que nous avons trouvés près de Médina (3), de Cuyahoga et de Newark (Ohio), nous ont donné la conviction qu'une grande partie de ces psammites appartiennent réellement au système carbonifère. Leurs couches tout à fait inférieures pourraient seules peut-être représenter l'étage dévonien de *Portage*; mais comme les roches de ce groupe ressemblent complètement à celles que

(1) Dans les diverses parties de l'Amérique que nous avons parcourues nous l'avons toujours distingué facilement à ses fossiles, et nous avons reconnu l'exactitude de ce que nous disions il y a sept ans sur l'importance de la limite qui le sépare des formations inférieures (*Bull. de la Soc. géol.*, vol. XI, p. 166).

(2) Nous avons rapporté de Cuyahoga et de Médina (Ohio) des psammites avec *Productus*, qu'il est presque impossible de distinguer minéralogiquement des échantillons pris aux cascades de Portage.

(3) C'est aux indications de notre collègue M. W. C. Redfield que nous devons d'avoir trouvé des fossiles dans cette localité.

nous rattachons au système carbonifère, et que dans l'État de l'Ohio elles ne contiennent pas de fossiles, on comprend qu'il soit presque impossible de faire dans les psammites de Waverley la part de ce qui peut être le prolongement des couches de *Portage*, et de ce qui appartient incontestablement au système carbonifère.

S'il peut exister dans l'État de l'Ohio, à la base de ce qu'on appelle le *fine grained sandstone* ou grès à grains fins de Waverley, quelques représentants des couches dévonniennes, il n'en est pas de même plus à l'O. Dans les États d'Indiana, du Kentucky et du Tennessee, le système carbonifère comprend tous les psammites micacés jusqu'aux schistes noirs (*black slates*), leurs couches inférieures renfermant de véritables espèces carbonifères, telles que *Spirifer striatus*, *Productus punctatus*, etc. (1). Dans le Tennessee une matière siliceuse très abondante semble avoir pénétré les psammites et les avoir quelquefois convertis en *cherts* ou espèces de meulières. Ce sont les *siliceous strata* du professeur Troost, si importantes sous le point de vue économique par la quantité et la bonté du minerai de fer qu'elles contiennent. Ces couches sont quelquefois remplies d'encrines et de polypiers mêlés à un très petit nombre de coquilles caractéristiques du système carbonifère. Les psammites et les couches siliceuses que nous rattachons ainsi au système carbonifère ont une grande étendue, et recouvrent des étendues considérables de pays, en sorte que le changement que nous proposons en entraînerait d'assez importants dans une carte des États-Unis, coloriée d'après la classification Européenne, telle, par exemple, que celle de M. Lyell (2).

En Europe, cet étage est probablement représenté par les grès jaunes d'Irlande, inférieurs au calcaire carbonifère, et par des schistes et psammites que nous avons vus en Westphalie, au N. de Hagen, et qui ont été décrits par MM. Sedgwick et Murchison. (*Geol. trans.*, vol. V.)

Au-dessus des psammites ou des *siliceous strata* vient le cal-

(1) M. Hall, dans son Mémoire sur l'identité des formations de l'O. des États-Unis avec celles de l'État de New-York, appelle subcarbonifère la partie supérieure seulement de ces psammites.

(2) Notre manière de voir a été adoptée par M. le docteur Dale Owen, qui nous a écrit que, depuis notre passage dans ces contrées, il avait eu occasion d'en vérifier l'exactitude dans le Kentucky, où il avait reconnu qu'en effet toutes les couches supérieures au schiste noir appartenaient au système carbonifère. Ce schiste fournit donc un horizon très constant pour distinguer le système carbonifère des dépôts inférieurs.

caire carbonifère qui est exactement l'équivalent de celui de l'Europe, et qui en renferme les fossiles les plus caractéristiques.

Le troisième étage du système carbonifère est formé par les grès et schistes houillers qui surmontent le calcaire précédent. A part leur étendue et leur épaisseur sans exemples, ils nous paraissent être les représentants de nos dépôts houillers d'Europe. Ils renferment, en effet, à peu près les mêmes plantes, mais ils s'en distinguent, toutefois, par leur origine marine, ou du moins par leur alternance avec des calcaires remplis de fossiles marins. Ces calcaires, dont l'épaisseur est insignifiante, comparée à celle de l'ensemble de l'étage houiller, ont une grande importance pour la théorie de la formation des houillères. Leurs fossiles sont à peu près les mêmes que ceux du calcaire carbonifère. Les schistes houillers eux-mêmes contiennent très peu de coquilles fossiles. Cependant, près de Blossburg, en Pennsylvanie, et dans le Maryland, on y trouve quelques espèces analogues à celles des environs de Glasgow en Écosse, telles que *Evomphalus carbonarius*, *Bellerophon Urii*, *Macrocheilus curvilinearis*, *Allorisma sulcata*, et quelques bivalves très rares semblables à des Unios.

Parcourons maintenant la liste des espèces identiques entre les deux continents, et signalons rapidement les modifications parallèles qu'elles y présentent. D'après nos propres observations, cette liste se compose ainsi qu'il suit : *Phillipsia seminifera*, *Orthoceras calamus*, *Goniolites rotatorius*, *Nautilus tuberculatus*, *Bellerophon hiulcus*, *B. Urii*, *Evomphalus carbonarius*, *E. pentangulatus*, *Macrocheilus curvilinearis*, *Allorisma sulcata*, *Terebratula Roissyi*, *T. planosulcata*, *Spirifer lineatus*, *S. striatus*, *S. attenuatus*, *S. cuspidatus*, *Orthis crenistria*, *O. resupinata*, *O. Michelinii*, *Leptaena depressa*, *Chonetes sarcinulata*, *Productus semireticulatus*, *P. Cora*, *P. Flemingi*, *P. punctatus*, *P. costatus*, *Cidarites Nerei*, *Amplexus spinosus*, *Cyathophyllum mitratum*, *Chaetetes capillaris*, *Fusulina cylindrica*; total, 34.

Toutes ces espèces, moins le *Leptaena depressa* et l'*Orthis crenistria*, sont propres au système carbonifère et le caractérisent sur une grande partie du globe; car, par une exception remarquable, plusieurs espèces de ce système ont à la fois des limites verticales assez circonscrites et une distribution horizontale très étendue : tels sont, par exemple, les *Productus semireticulatus*, *Cora*, *Flemingi*, que l'on a signalés depuis l'Altai et les frontières russo-chinoises jusqu'au Missouri, et même jusque sur le plateau des Andes de la Bolivie.

Quand on compare la faune carbonifère de l'Amérique avec

celle de l'Europe, on ne peut voir sans étonnement que, malgré la distance qui sépare ces contrées, les genres et les espèces y présentent les mêmes modifications, les mêmes différences avec les faunes précédentes (1).

En effet, tandis que les recherches persévérantes de M. King, en Pennsylvanie (2), viennent nous prouver l'existence de grands animaux respirant l'air à cette époque, la découverte d'un Saurien, faite récemment dans les couches carbonifères en Allemagne (3), démontre que l'apparition de cette classe d'animaux, plus anciens qu'on ne le croyait jusqu'à présent, a été contemporaine dans les deux continents.

Les Trilobites observent un ordre de décroissement parallèle, et sont réduits, en Amérique comme en Europe, à quelques petites espèces du genre *Phillipsia*. Les Goniatites y offrent également pour la première fois ce type nouveau où le lobe dorsal, au lieu d'être simple, est divisé par une petite selle médiane.

La distribution des *Productus* offre encore une coïncidence remarquable. Inconnus en Amérique dans le système silurien, apparaissant sous une ou deux petites formes à l'époque dévonienne, ils prennent dans les roches carbonifères un développement tout à

(1) L'analogie entre les deux continents semble être plus marquée à cette époque qu'aux époques antérieures, le nombre des espèces identiques étant relativement plus considérable. Si l'on en recherche la cause, on est porté à l'attribuer à des conditions physiques plus analogues, ce dont témoigne l'uniformité des dépôts de cette époque, et peut-être aussi à une disposition particulière du relief sous-marin, c'est-à-dire à des bas-fonds et à des îles qui s'étendaient de l'Europe vers l'Amérique. M. Élie de Beaumont explique cette disposition d'une manière très naturelle. Il y voit un effet du soulèvement O.-N.-O. qui a précédé l'établissement du système carbonifère, et qu'il a appelé système du ballon d'Alsace. Nous sommes heureux de voir ainsi se confirmer par des recherches indépendantes la belle théorie de notre illustre ami.

(2) Voir l'intéressante lettre de M. Lyell sur l'évidence d'empreintes de pas d'un quadrupède voisin du *Cheirotherium*, dans les strates carbonifères de la Pennsylvanie (*Silliman's Journ.*, vol. II, p. 25).

(3) Cette découverte, dont nous venons d'être informé par M. de Buch, détruit la principale objection que l'on pouvait faire à l'étendue que nous avons donnée au terrain paléozoïque dans notre ouvrage sur la Russie, en y comprenant le système permien; car cette objection n'était fondée que sur l'opinion alors établie, que les sauriens se montraient pour la première fois dans ce système, et sur l'importance de l'apparition des animaux de cette classe pour déterminer le point de départ du terrain secondaire.

fait en harmonie avec les faits observés en Europe. Les *Spirifer* de cette époque présentent aussi, en Amérique, ce caractère de plis souvent dichotomes que M. d'Archiac et moi nous avons déjà signalé en Europe (1), et par lequel ils se distinguent des espèces de la période dévonienne, qui les ont toujours simples (2).

Quant aux Térébratules, nous signalerons ce fait intéressant de la disparition simultanée de deux espèces, les *T. reticularis* et *aspera*, qui, pendant les époques dévonienne et silurienne supérieure, s'étaient répandues avec une grande profusion depuis l'Altaï et l'Oural jusqu'au Missouri. Nous citerons enfin, comme phénomènes simultanés sur les deux continents, l'apparition de ces crinoïdes formant passage vers les échinodermes, tels que les *Palæochinus* ou *Melonites*, l'extinction de ces grands polypiers, tels que les *Favosites Gothlandica*, *Porites interstincta*, etc., et leur remplacement par des *Chaetetes* et des *Lithostroton* à peu près identiques en Amérique et en Europe. L'analogie entre les deux continents se poursuit jusque dans les foraminifères et les plantes. On a vu en effet que la *Fusulina cylindrica*, si caractéristique du calcaire carbonifère de Russie, se trouve dans les cherts ou couches siliceuses du grès houiller de l'Ohio. Et quant aux plantes, l'immense quantité d'espèces terrestres, identiques des deux côtés de l'Atlantique, prouve que la houille s'y est formée dans le voisinage de terres déjà émergées et placées dans des conditions physiques semblables.

Avec le système carbonifère se termine le terrain paléozoïque de l'Amérique du Nord. Pendant toute la durée de son dépôt le sol avait été exempt de grandes perturbations (3). Des oscillations lentes et insensibles avaient émergé successivement des zones plus ou moins circulaires du sol sous-marin où s'étaient faits les dépôts siluriens et dévoniens, et avaient resserré la limite des dépôts carbonifères; mais l'horizontalité des couches n'en avait pas été

(1) *Memoir on the Palæoz. foss.* (*Trans. geol.*, vol. V, p. 349). — Voir aussi *Géologie de la Russie d'Europe*, vol. II, p. 126. M. L. de Buch, dans le Mémoire si intéressant qu'il vient de publier sur l'île Cherry (*Bären Insel*), a insisté avec raison sur l'utilité de ce caractère, que l'on pourrait croire insignifiant.

(2) Ce n'est aussi qu'à l'époque dévonienne que l'on trouve ces *Spirifer*, dont le bourrelet est divisé par un léger sillon, comme dans les *S. mucronatus* et *Bouchardi*.

(3) Dans la partie orientale des États-Unis, où le terrain paléozoïque est très tourmenté et métamorphisé, M. H. D. Rogers a cru reconnaître des traces de dislocations qui auraient redressé les couches après l'époque du groupe de Hudson River ou celui de Clinton (*Sillim. journ.* vol. I, p. 444).

roublée. C'est seulement après l'époque carbonifère qu'une force énergique, plissant et relevant l'écorce terrestre, a donné naissance à la chaîne des Alleghanys. La manière dont les plis, largement ondulés d'abord, se resserrent, se multiplient et se renversent enfin en allant du N.-O. au S.-E. vers les roches métamorphiques et granitiques, situées le plus souvent en dehors de la chaîne proprement dite, a été parfaitement élucidée par les deux professeurs Rogers (1).

Il n'entre pas dans notre dessein d'étendre davantage cette notice, ayant rempli, selon nos forces, le but que nous nous étions proposé, d'établir un parallèle entre le terrain paléozoïque de l'Amérique du nord et celui de l'Europe. Qu'il nous soit permis en terminant de présenter un résumé de la marche que nous avons suivie et des principaux résultats auxquels nous sommes arrivé.

Pour bien faire saisir l'intérêt du parallèle que nous nous proposons de faire et le jour qu'il pouvait jeter sur la connaissance des dépôts paléozoïques en général, nous avons exposé dans quelles conditions géologiques avantageuses se trouve l'Amérique du nord, et comment, grâce à l'horizontalité des couches sur de grandes étendues, à leur superposition concordante et non interrompue, il est possible d'arriver à une certitude rigoureuse sur la durée des espèces, c'est-à-dire sur le point de la série où elles apparaissent et celui où elles s'éteignent.

Pour comparer l'Amérique du nord à l'Europe, il nous a fallu donner une esquisse rapide des groupes et des étages dont y est composé le terrain paléozoïque. Les différences que sous ce rapport nous ont offertes la constitution géognostique de l'État de New-York et celle des États occidentaux, tels que ceux de l'Ohio et d'Indiana, nous ont révélé le degré d'importance qu'il faut attacher à ces divers groupes. Nous avons vu que leur nombre, variable suivant le voisinage ou l'éloignement des terres émergées à l'époque de leur formation, avait peu d'importance pour l'établissement des systèmes fondés sur les caractères paléontologiques. Nous avons vu aussi, qu'en général, les calcaires sont plus constants que les couches schisteuses ou arénacées, qu'ils forment des horizons plus étendus, et fournissent au géologue un guide plus sûr (2).

(1) *On the physical structure of the Appalachian chain as exemplifying the laws which have regulated the elevation of great mountain chains, generally, by W. B. and H. D. Rogers.*

(2) M. C. Prévost, dans son mémoire sur le synchronisme des formations (*Comptes-rendus, avril 1845*), a bien fait ressortir l'importance des dépôts calcaires pélagiques par rapport aux couches arénacées formées sous l'influence des rivages.

Passant ensuite à la comparaison des deux continents, nous avons dit, en nous fondant sur les analogies géologiques, comment les sous-étages américains devaient être groupés pour correspondre aux systèmes silurien, dévonien et carbonifère d'Europe. Nous n'avons pas dissimulé que les divisions introduites sur ce principe ne correspondaient pas, dans certaines contrées, aux divisions indiquées par la nature minéralogique des roches; ainsi la limite entre les deux étages du système silurien, assez bien marquée dans l'Etat de New-York, s'obscurcit près du Mississipi à cause de la prédominance du calcaire magnésien; il en est de même des systèmes silurien et dévonien, là où leur limite se trouve dans la partie supérieure de ce grand étage calcaire appelé *Cliff limestone*; ainsi que du système carbonifère, dans les parties de l'Etat d'Ohio où il est en contact avec les psammites dévoniens de *Portage*.

Ces passages minéralogiques, auxquels on devait s'attendre dans un pays exempt de perturbations, n'obscurcissent pas, au reste, les preuves du développement parallèle du règne animal dans les deux continents; car si, laissant de côté les difficultés que présente la fixation des limites entre les systèmes, on compare les systèmes entre eux ou mieux encore, terme à terme, les groupes dont ils se composent, on acquiert la conviction que les espèces identiques ont vécu à la même époque en Amérique et en Europe, qu'elles y ont eu à peu près la même durée, et qu'elles s'y succèdent les unes aux autres dans le même ordre. Nous avons cherché à prouver que les premières traces de la vie organique, dans les contrées les plus distantes, se montrent, sous des formes à peu près semblables, à la base du système silurien, et que les mêmes types, souvent les mêmes espèces, se développent successivement et parallèlement à travers toute la série des couches paléozoïques. Si nous n'avons pas réussi à lever le voile qui nous cache encore la cause de ce grand phénomène, peut-être au moins nos observations démontrent-elles l'inefficacité de celles par lesquelles certains auteurs cherchent à l'expliquer. Elles prouvent, en effet, que le phénomène lui-même est indépendant de l'influence qu'exerce sur la distribution des animaux la différence de profondeur des mers (1) : car si, dans

(1) Nous ne prétendons pas dire que les différences de profondeur dans les mers n'avaient pas jadis d'influence sur la distribution des êtres; c'est à cette circonstance, au contraire, que nous attribuons ces faunes plus ou moins locales qu'on découvre souvent dans le terrain paléozoïque. Mais ces faunes locales offrent toujours quelques espèces qui les rattachent à l'époque à laquelle elles appartiennent. Ce sont des hors-d'œuvre qui ne dérangent pas la symétrie générale.

certaines contrées, les dépôts siluriens annoncent une mer profonde, dans l'État de New-York ils ont au contraire un caractère littoral. Elles prouvent enfin que, dans son expression générale, il est également indépendant des soulèvements qui ont affecté la surface du globe; car, depuis la frontière orientale de la Russie jusqu'au Missouri, loin ou près des lignes de dislocation, dans les couches horizontales, comme dans celles qui sont redressées, la loi suivant laquelle il s'accomplit paraît être uniforme.

Nous donnons ci-après la liste des espèces communes à l'Europe et à l'Amérique du nord. Cette liste est faite d'après nos propres observations, c'est-à-dire que nous avons vu, dans les collections, ou dans les couches même du sol, les espèces qui y sont indiquées. Nous avons placé, en regard de chaque espèce, des colonnes correspondant aux trente et un groupes dont se compose le terrain paléozoïque des États-Unis, et nous avons indiqué par des astérisques ceux de ces groupes où elle se rencontre. On peut ainsi, à la seule inspection du tableau, se rendre facilement compte de la durée diverse des espèces, et distinguer celles qui traversent plusieurs systèmes de celles qui sont limitées à un seul. On peut encore, ce qui est tout aussi essentiel, suivre la succession de ces dernières dans les divers étages qui composent ce que l'on est convenu d'appeler un système. On y reconnaît que les espèces n'ont presque jamais vécu pendant toute la durée du système dont on les dit caractéristiques, qu'elles y sont réparties à des niveaux divers, et qu'il en résulte, entre les premières et les dernières couches, des différences qui semblent préparer l'établissement du système suivant.

Le tableau contient 117 espèces, ou environ le cinquième de toutes celles que nous avons eu occasion de voir pendant notre voyage. Les quatre cinquièmes des espèces fossiles du terrain paléozoïque de l'Amérique du nord paraissent donc être propres à ce continent (1), et viennent nous prouver ainsi que, dès les premiers temps de la création, les animaux observaient dans leur distribution géographique des lois plus ou moins analogues à celles qui les régissent aujourd'hui.

(1) C'est à peu près la proportion que nous avons déjà indiquée dans notre ouvrage sur la Russie (*Géologie de la Russie d'Europe et de l'Oural*, vol. II, p. 34).

Remarques sur les fossiles paléozoïques communs à l'Amérique et à l'Europe, et sur les rapports qu'ils offrent dans leur distribution.

Holoptichus nobilissimus Agass. — Ce poisson si caractéristique du vieux grès rouge d'Écosse, d'Angleterre et de Russie, se retrouve à Blossburg, en Pennsylvanie, dans le puissant étage de grès qui forme la partie supérieure du système dévonien.

Dendrodus (Owen). — Nous croyons pouvoir rapporter à cette espèce la dent figurée par M. Hall dans son rapport final sur la géologie de New-York, p. 284, f. 4, et trouvée à Blossburg avec l'espèce précédente. Le genre *Dendrodus* est caractéristique du vieux grès rouge d'Écosse et des couches dévoniennes de Russie.

Asterolepis Eichw. — Nous rapportons à ce genre deux fragments de poissons américains; l'un que nous avons vu dans la collection de M. Guebard (1), et qu'il nous a dit avoir été trouvé dans le grès calcaire de Schoharrie, et l'autre que nous avons acheté, et qui nous paraît provenir des schistes d'Hamilton. Ce dernier n'offre aucune différence avec un échantillon que j'ai trouvé dans l'Eifel.

Calymene Blumenbachi Brong. ; *C. senaria*, Conrad. — M. Conrad a donné le nom de *C. senaria* à une variété du *C. Blumenbachi* qui se rencontre dans les couches paléozoïques les plus anciennes (calcaire de Trenton et calcaire bleu de l'Ohio), et qui ne se distingue de l'espèce de M. Brongniart que par le rétrécissement d'arrière en avant du lobe médian de la tête, caractère qui la rapproche un peu du *C. Tristani*. Le *C. Blumenbachi* véritable existe incontestablement en Amérique dans le système silurien supérieur (*Clinton et Niagara group*). Sa variété *major*, figurée par Murchison (sil. syst., pl. 7, f. 6), et nommée par M. Green *C. platys*, se trouverait, selon cet auteur, dans le grès calcaire de Schoharrie. Si le fait est exact, cette variété, qui appartient en Angleterre à l'étage de Ludlow, aurait vécu en Amérique dans des couches que nous considérons comme étant un peu plus récentes.

C. Fischeri Eichw. — Cette espèce, caractéristique des calcaires siluriens inférieurs de Russie et de Suède, se retrouve à Knoxville, en Tennessee, à la base de la série paléozoïque. M. le professeur Troost en possède un bel échantillon. Elle se reconnaît aux vingt-trois articulations dont elle se compose. Nous croyons qu'on peut y réunir l'*Amphion pseudo-articulatus* Portlock, de l'étage silurien inférieur d'Irlande.

C. punctata Brunn. sp.; (*C. variolaris*, Brong. non Murch.). — Cette espèce a été trouvée par M. Hall à Middleville dans le calcaire

(1) La collection de M. John Guebard est une des plus riches pour la série des roches et fossiles qui constituent les collines d'Helderberg, autour de la ville de Schoharrie, et son propriétaire se fait un plaisir de la mettre à la disposition des étrangers.

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

de Trenton, et par M. Norwood à Madison (Ind.), dans les assises inférieures du *Cliff limestone*, qui correspondent au groupe de Clinton. Nous l'avons vue aussi à Springfield (Ohio), avec le *Pentamerus oblongus*, dans les calcaires magnésiens tout à fait parallèles aux couches de Clinton. En Angleterre, le *C. punctata* se trouve à la fois dans les grès de Caradoc et dans les argiles schisteuses de Wenlock. C'est dans ces mêmes schistes qu'il se trouve dans l'île de Gothland. Dans les îles de Dago et d'OEsel, ainsi que dans celles du golfe de Christiania, le *C. punctata* semble aussi se trouver près de la ligne de jonction des étages supérieur et inférieur du système silurien.

Illænus crassicauda, Wahl. sp.; (*Bumastus Trentonensis*? Emmons.) — Nous n'avons vu que des parties détachées de cette espèce, et principalement le post-abdomen ou *pygidium*. Elle appartient aux couches les plus anciennes. Nous la connaissons sur le Black river et dans les environs de Trenton (New-York), en Pennsylvanie et à Knoxville (Tennessee), où elle est associée au *C. Fischeri*. Cette espèce occupe la même position en Europe, et est exclusivement propre à l'étage inférieur du système silurien en Angleterre, en France, en Suède et en Russie.

Lichas laciniata Wahl., ou peut-être *Lichas scabra* Beyrich. — Il est fort difficile de dire à laquelle de ces deux espèces on doit rapporter le bel échantillon trouvé par M. Carley dans le calcaire bleu de Cincinnati.

Le *Lichas scabra* de Bohême appartient, selon M. Barrande, aux couches les plus basses de l'étage supérieur du système silurien, tandis que le *Lichas laciniata* de Suède se trouve, comme celui d'Amérique, dans l'étage inférieur. Nous avons vu dans les collections de M. J. Hall, à Albany, un échantillon assez semblable à celui de Cincinnati, provenant du calcaire de Trenton.

Ceraurus pleurexanthemus Green. — En comparant les fragments de tête que je possède de cette espèce avec le *Cheirurus exsul* Beyrich, je n'ai pu y découvrir aucune différence. Cet auteur ne connaît, comme nous, du *Cheirurus exsul*, que la tête qui a été trouvée dans des cailloux roulés de calcaire venant de Scandinavie, et contenant les trilobites les plus caractéristiques de l'étage inférieur du système silurien, tels que *Asaphus expansus* et *Illænus crassicauda*. L'*Amphion gelasinosus* Portlock, dont cet auteur n'a connu que la tête et qui paraît être encore la même espèce, appartient aux couches siluriennes inférieures d'Irlande. Le *Ceraurus pleurexanthemus* caractérise aussi le même étage en Amérique. Nous l'avons trouvé à Middleville (New-York) dans le calcaire de Trenton, et à Galena (Illinois) dans le calcaire bleu. M. Dale Owen dit l'avoir trouvé à Cincinnati, dans des couches du même âge.

Trinucleus Caractaci Murch. — Cette espèce est abondante en Amérique, principalement dans le *Hudson river group* de l'Etat de New-York. On le trouve aussi dans le calcaire bleu de Cincinnati et de Newport, en Kentucky. Selon M. le professeur Emmons, le *T. tessellatus* Green, très abondant dans les couches inférieures, c'est-à-dire dans

le calcaire de Trenton, à Sacket's Harbour, à Glen's Falls (New-York) et à Montréal, se distinguent du *T. Caractaci* par la moindre longueur des prolongements spiniformes, par la moindre largeur du limbe perforé et par le nombre des cercles parfaits de perforations, qui seraient de trois au lieu de quatre (1). Le *T. Caractaci* appartient en Europe à la région moyenne et supérieure de l'étage silurien inférieur, et se trouve principalement dans le grès de Caradoc. Toutes les espèces de *Trinucleus* sont en général propres à l'étage inférieur du système silurien. Nous ne connaissons pas d'exception à cette règle en Amérique, et nous n'en connaissons qu'une seule en Europe (2).

Phacops Hausmanni Brongn. sp. — Cette espèce, propre en Bohême aux divisions hautes et moyennes de l'étage silurien supérieur, se retrouve en Amérique exactement dans la même position, c'est-à-dire dans le calcaire à *Pentamerus galeatus* et dans les argiles à *Delthyris* de l'Etat de New-York. Elle a été décrite par M. Green sous le nom d'*Asaphus micrurus*. Selon M. Troost (6th report) elle existe aussi dans le Tennessee.

P. Dalmani Portlock. — Découverte par M. Portlock dans l'étage silurien inférieur d'Irlande, cette espèce se retrouve au même horizon dans le calcaire de Trenton (New-York). Très voisine du *P. Downingiæ*, elle s'en distingue par la glabellle plus triangulaire et fortement rétrécie d'avant en arrière.

P. limulurus Green. — La seule différence entre cette espèce et le *P. mucronatus* Brongn. ou *longicaudatus* Murch. consiste dans la forme de la queue, qui est plus courte et dont la base est plus large. Si cette différence, observée sur un plus grand nombre d'échantillons que nous n'avons pu le faire, oblige à maintenir la séparation spécifique du *P. limulurus*, peut-être pourrait-on le considérer comme intermédiaire entre le *P. mucronatus* et le *P. caudatus*. Il a d'ailleurs avec ces deux espèces de grands rapports de gisement. Il se trouve dans les argiles schisteuses de Niagara, comme les deux espèces précédentes dans les argiles de Wenlock. Le *P. mucronatus* descend cependant en Bretagne jusque dans les schistes siluriens inférieurs, tandis que le *P. caudatus* reste limité au groupe de Wenlock, de même que le *P. limulurus* au groupe de Niagara.

Nous avons trouvé encore à l'O. des Etats-Unis des *pygidium* séparés, trop incomplets pour pouvoir être rapportés avec certitude, soit au *P. limulurus*, soit au *P. caudatus*. Ces échantillons ne sont pas rares dans le *Cliff limestone* de l'Ohio et de l'Indiana, qui correspond au groupe de Niagara. Un de ces *pygidium* incomplets, appartenant peut-être au *P. limulurus*, nous a été donné à Dayton (Ohio), par M. van Cleve, comme provenant d'un calcaire jaune, qui paraît être intermédiaire entre les deux grands étages siluriens.

P. macrophthalmus Brongn. ; (*Calymene bufo* Green ; *Asaphus*

(1) M. Hall croit néanmoins devoir réunir le *T. tessellatus* au *T. Caractaci*.

(2) On dit que dans ces derniers temps on a trouvé des *Trinucleus* dans les argiles de Wenlock.

megalophthalmus Troost; *C. latifrons* Bronn). — Une des espèces les plus répandues en Amérique comme en Europe, principalement dans le système dévonien. Nous ne la connaissons pas personnellement plus bas; cependant, nous en avons vu des échantillons provenant de Gaspé (Nouveau-Brunswick), localité qui, à en juger par d'autres fossiles, paraît être silurienne supérieure, et M. Conrad l'a citée aussi dans les argiles à Delthyris (n° 45). Rien n'est plus commun, au contraire, que ce trilobite dans le système dévonien, tel que nous le limitons. Il y occupe principalement les parties inférieures, depuis le *Schoharrie grit* jusqu'au groupe de Hamilton. Dans l'Etat de New-York, c'est à l'époque du dépôt des puissants schistes d'Hamilton qu'il prend son plus grand développement, tandis que dans les Etats d'Ohio et d'Indiana, où ces schistes manquent, il se trouve abondamment dans les calcaires qui forment la partie supérieure du *Cliff limestone*.

Localités : Lewis's Creek, Charleston landing (Indiana); Cacapou, près Hancock (Virginia); Gaspé (Canada); Schoharrie, Moscow (New-York). En Europe, comme en Amérique, le *P. macrophthalmus* est assez rare dans le système silurien, tandis qu'il est très abondant dans les couches dévoniennes de l'Eifel. En Russie, il ne se trouve que dans le système dévonien de l'Altaï.

Cryphteus calliteles Green. — Cette espèce est tellement voisine du *Phacops stellifer* Burm. qu'il y aurait peut-être lieu à les réunir, et qu'en tout cas il est impossible de les laisser dans deux genres distincts. Si l'on conserve le genre *Cryphteus*, il faut y placer cette petite division des *Phacops* dont la queue porte de longues épines, et qui ne comprend que deux espèces, *P. arachnoides* et *P. stellifer*.

Le *C. calliteles* est propre au groupe d'Hamilton, et a été retrouvé par M. Marie Rouault, en Bretagne, dans les calcaires et schistes de Gahard, qui en sont l'équivalent. Les *P. arachnoides* et *stellifer* sont également propres au système dévonien de l'Eifel.

Bumastus Barriensis Murch. — Caractéristique des couches contemporaines de Niagara et de Wenlock. Il se trouve à Lockport (New-York) et à Springfield (Ohio) dans le calcaire magnésien, où il est associé au *Pentamerus oblongus*. Dans la région métallifère des Illinois et du Wisconsin il se rencontre en général aussi à la base de l'étage supérieur du système silurien; cependant, nous en avons vu à Galena un échantillon dans le calcaire bleu, avec des espèces de l'étage silurien inférieur.

Homalonotus delphinocephalus Green sp. — Cette espèce caractéristique des couches de Niagara et de Wenlock se trouve à Rochester et à Lockport. Il faut y réunir les *H. atlas*, *giganteus* et *herculeus* de M. de Castelnau.

Cheirurus insignis Beyr. — Cette espèce, dont nous avons la tête bien caractérisée, a été découverte par M. Troost dans le comté de Perry (Tennessee) et par nous dans les calcaires siliceux de Chicago (Illinois). Dans ces deux points, elle appartient à l'étage silurien supérieur, et se trouve dans des couches que nous considérons comme plus

élevées que celles qui renferment le *P. oblongus*. En Bohême, selon M. Barrande, le *C. insignis* se trouve dans une position analogue, c'est-à-dire dans la division moyenne de l'étage silurien supérieur.

Sphærexochus mirus Beyr. — Cette espèce très remarquable se rencontre à Springfield (Ohio) et à Madison (Indiana). Dans la première localité, elle est associée au *P. oblongus*; dans la seconde, elle se trouve au sommet de la grande coupe, par laquelle passe le chemin de fer, dans des calcaires qui sont au point de jonction des deux grands étages du système silurien.

En Bohême, c'est aussi à la base de l'étage silurien supérieur que cette espèce a été découverte. Le muséum de Dudley en possède un échantillon trouvé dans le calcaire de cette ville. En Suède, il paraît qu'elle descend dans l'étage silurien inférieur, car sous le nom de *Calymene clavifrons*, Hisinger a figuré une tête de trilobite de Furudal, en Dalécarlie, qui nous paraît bien voisine de l'espèce de Bohême. Cependant, si la figure est exacte, il y aurait quelque différence.

Agnostus latus Conr. — Cette espèce nous paraît être la même que celle que M. Murchison a rapportée à tort, dans son ouvrage, à l'*A. pisiformis*, pl. 3, fig. 47. Mais tandis qu'en Angleterre ce petit *Agnostus* se trouve à la partie tout à fait supérieure du système silurien, dans l'Etat de New-York il se montre plus tôt, c'est-à-dire dans le *Clinton group*, qui est à la base de l'étage supérieur.

Phillipsia seminifera Phill. sp. — Ce petit trilobite, très voisin du *P. Jonesii*, si même il n'est identique avec lui, ne se montre en Amérique, comme en Angleterre, qu'à l'époque carbonifère. Il se trouve à Flintridge, dans l'étage houiller de l'Ohio et à Leavensworth (Indiana), dans le calcaire oolitique inférieur au grès houiller.

On trouve encore près de Louisville (Kentucky), dans les psammites micacés inférieurs au calcaire carbonifère, une autre espèce de *Phillipsia* voisine du *P. ornata* Portlock. Nous avons aussi reconnu le *pygidium* d'une espèce de ce genre près de Nauwoo, sur le haut Mississipi, dans le calcaire carbonifère.

Orthoceratites communis Wahl. (*Cameroceras Trentonensis* Conrad). — Cette espèce, à large siphon latéral, est caractéristique en Amérique des dépôts paléozoïques les plus anciens, comme la plupart des Orthocératites dont elle est le type. Elle est commune dans le *Trenton limestone* à Middleville et à Watertown (New-York). Le capitaine Bayfield en a rapporté des échantillons de l'île de Terre-Neuve et des îles Mingan, à l'entrée du golfe Saint-Laurent. Également caractéristique en Europe de l'étage silurien inférieur, elle est la plus abondante de toutes dans les calcaires rouges de la Suède et dans les calcaires verdâtres de Saint-Pétersbourg.

On trouve souvent aussi dans le même étage, soit dans l'Etat de New-York, soit près de Richmond (Indiana), des corps semblables à ceux que M. Eichwald a décrits en Russie sous le nom d'*hyolythes*, et qui sont des remplissages du siphon, ou du tube qui occupait le centre du siphon, chez certaines Orthocératites.

O. annulatus Sow. ; (*O. Defranci* Troost). — L'espèce américaine nous paraît identique à celle qui a été figurée par M. Murchison dans le *Silurian System* et à celle que Hisinger a décrite sous le nom d'*O. undulatus*. De même qu'en Angleterre et dans l'île de Gothland, elle caractérise de l'autre côté de l'Atlantique l'étage silurien supérieur. A Rochester (New-York) et dans le comté de Perry (Tennessee), elle est propre au groupe de Niagara.

Orthoceratites calamus Kon. — Nous identifions avec cette espèce une Orthocératite petite, effilée, qui nous a été donnée par le docteur Hildreth, comme provenant des schistes houillers de l'Ohio. L'*O. calamus* n'était encore connu que dans les calcaires carbonifères de la Belgique et de l'Oural.

NOTA. Il existe vraisemblablement plus de trois espèces d'Orthocératites communes à l'Europe et à l'Amérique, et nous pouvons citer comme exemple d'une quatrième espèce l'échantillon figuré par M. le docteur Emmons dans son *Rapport final sur la géologie de New-York*, page 396, f. 3, et qui nous paraît appartenir à l'*O. trochlearis* Wahl.

Lituites convolvans Schlot. — M. J. Hall nous a montré parmi les fossiles du calcaire de Black river un échantillon, que nous avons considéré comme identique avec le *L. convolvans*, qui, soit à Reval, soit dans l'île d'Oeland, occupe une position analogue.

Goniatites rotatorius Kon. — Cette espèce nous a été donnée par M. Dale Owen, comme trouvée par lui à Rockford, sur la rivière Muskatatak (Indiana); elle est identique avec la Goniatite du calcaire carbonifère de Tournay figurée par M. de Koninck.

G. retrorsus Buch. ; (*G. bicostatus* Hall). — L'espèce figurée par M. Hall nous paraît identique avec celle des calcaires dévonien de Nassau. M. Roemer a exprimé la même opinion dans une lettre à M. de Buch. Cette espèce se trouve dans le groupe de Portage, que tout le monde s'accorde à considérer comme un des équivalents du système dévonien.

Nautilus tuberculatus Sow. — Cette espèce, très répandue, est propre au système carbonifère. Elle se trouve à ses deux limites verticales extrêmes, c'est-à-dire dans l'étage houiller de l'Ohio et dans les psammites micacés de Louisville (Kentucky). On la connaît aussi en Irlande, dans le Yorkshire et en Russie, où elle caractérise le calcaire carbonifère.

Bellerophon hiulcus Sow. — Le professeur Troost de Nashville a rapporté avec raison à cette espèce des échantillons qu'il a découverts dans le calcaire carbonifère d'Eddyville (Kentucky), localité que nous avons visitée. M. le docteur Prout a trouvé la même espèce dans le calcaire carbonifère de Saint-Louis (Missouri), mais plus petite et tout à fait semblable à la variété de Tournay (Belgique), que M. d'Orbigny a nommée *B. Munsteri*.

B. Urti Flem. — Propre en Amérique aux couches houillères de l'Ohio et de la Pennsylvanie. En Europe, c'est une de ces espèces qui,

par une rare exception, parcourent les systèmes silurien, dévonien et carbonifère. Nous l'avons trouvée dans les couches siluriennes d'Ony river en Shropshire, ainsi que dans le calcaire carbonifère de Tournay, et M. Phillips signale sa présence dans le Devonshire.

B. dilatatus Murch. — Nous avons découvert dans le calcaire silioux de Chicago (Illinois) ce Bellérophon si remarquable et propre à l'étage supérieur du système silurien. Les couches de Chicago, comme celles de Niagara, sont les équivalents des calcaires de Wenlock.

B. striatus Férussac. — Nous possédons cette espèce des environs de Davenport (Iowa); comme elle nous a été donnée, nous ne pouvons dire exactement l'âge des couches d'où elle provient. M. de Castelnau l'a aussi rapportée des bords du lac Erie, et M. Hall la signale dans le groupe de Portage. En Europe, cette espèce est dévonienne.

B. bilobatus Murch. — Très abondant dans le calcaire de Trenton; particulièrement à Trenton Falls, à Middleville, à Watertown (New-York), à Cincinnati (Ohio) et à Montréal (Canada). Les échantillons de l'Etat de New-York sont tellement identiques avec ceux du calcaire silurien inférieur de Christiania, qu'on a de la peine à les distinguer. En Angleterre, le *B. bilobatus* appartient, selon M. Murchison, aux couches de Caradoc et de Llandeilo.

Pleurotomaria lenticularis Murch. — Figurée par M. Murchison comme un *Trochus*, et rangée par M. Emmons parmi les *Pleurotomaria*, cette espèce se rapproche beaucoup de l'*Evomphalus qualterriatus*, et n'en diffère que par le bord extérieur des tours de spire, qui sont moins aigus. Il y a dans les couches de Trenton un véritable *Pleurotomaria*; mais il se distingue facilement de cette espèce. Le *P. lenticularis* appartient, en Angleterre, au grès de Caradoc, et en Amérique, aux couches de Trenton, qui sont un peu plus basses dans la série. Nous le possédons de Middleville, de Watertown, du calcaire bleu de Cincinnati (Ohio) et de Dubuque (Iowa). L'*E. qualterriatus*, son analogue, est, comme on sait, caractéristique en Russie et en Suède de l'étage silurien inférieur.

Subulites elongata Emmons. — Cette espèce, que nous avons trouvée à Middleville, à Watertown (New-York) et à Galena (Illinois), représente en Amérique la *Phasianella gigantea* Eichw. de Russie, si même elle ne lui est identique. Elle est propre, comme elle, à la base du terrain paléozoïque.

Evomphalus carbonarius (*Inachus catilloides* Conrad). — Espèce très petite, encore inédite, citée par M. Lyell dans les schistes houillers du Maryland, et qui se rencontre aussi dans ceux de l'Ohio. C'est avec juste raison que M. Lyell l'a identifiée avec un *Evomphalus* des couches houillères de Glasgow.

E. pentangulatus Sow. — Une petite variété de cette espèce se trouve à Paola (Indiana) dans un calcaire que nous croyons devoir être carbonifère; l'échantillon nous en a été donné par M. Carley. L'*E. pentangulatus* est une des coquilles caractéristiques du système carbonifère dans toute l'Europe jusqu'à l'Oural.

Macrocheilus curvilineus (*Buccinum* Phill.). — Cette espèce, qu

l'on trouve dans les calcaires carbonifères de Bolland (Yorkshire) et de Pola de Lena (Asturies), se rencontre aussi dans les schistes houillers du Maryland et de l'Ohio.

Chemnitzia nexilis (*Loxonema* Phill.). — Se trouve dans le calcaire dévonien des rapides de l'Ohio et dans le *Hamilton group* de l'Etat de New-York. Sa position dans les calcaires du Devonshire et dans ceux de Ferques est tout à fait analogue.

Murchisonia bilineata Goldf. sp. — Nous avons vu, dans la collection du docteur Dale Owen, un échantillon de cette espèce caractéristique du système dévonien en Allemagne, en France et en Angleterre. Il provenait de Camp creek (Indiana) et avait été trouvé, avec le *Pleurodyctium problematicum*, à la partie supérieure du *Cliff limestone*, dans un calcaire analogue au *corniferous limestone* de New-York.

Avicula damnoniensis Sow. — M. Hall a identifié avec cette espèce dévonienne une Avicule, que l'on trouve dans le *Chemung group*.

Pterinea fasciculata Goldf.; (*Avicula flabella* Conrad). — Après avoir comparé avec soin l'*A. flabella* à la figure et à la description que Goldfuss a données de la *P. fasciculata*, nous avons cru pouvoir les réunir; l'une provient du *Hamilton group* (New-York), et l'autre des grauwackes des environs d'Ems (Nassau). On sait que ces grauwackes, placées au-dessous du calcaire de l'Eifel, contiennent encore quelques espèces dévoniennes.

Modiola squammifera Phill. — Nous possédons dans un échantillon de grès calcaire de Schoharrie l'empreinte d'une coquille qui nous paraît être identique avec le *Modiola squammifera* Phill. Cette espèce, carbonifère en Angleterre, a la plus grande analogie avec le *Pterinea elegans* Goldf., du calcaire dévonien de l'Eifel.

Inoceramus Chemungensis Conr. — La figure et la description que M. Conrad donne de cette espèce nous ont engagé à la réunir au *Cardium dimidiatum* Goldf. que nous possédons. Cette espèce n'étant pas un *Cardium*, nous lui laissons le nom que lui a donné M. Conrad. L'espèce américaine se trouve à *Chemung narrows* (New-York), et le *C. dimidiatum* dans l'Eifel.

Lucina rugosa Goldf.; (*Posidonia lyrata* Conr.). — Ces deux coquilles, que nous possédons dans notre collection, ne présentent pas de différences spécifiques. L'une est de l'Eifel; M. Goldfuss la signale dans le calcaire, et nous l'avons trouvée dans les schistes qui lui sont immédiatement inférieurs; l'autre appartient au groupe de Hamilton, dans l'Etat de New-York, et au calcaire cornifère, dans celui d'Indiana.

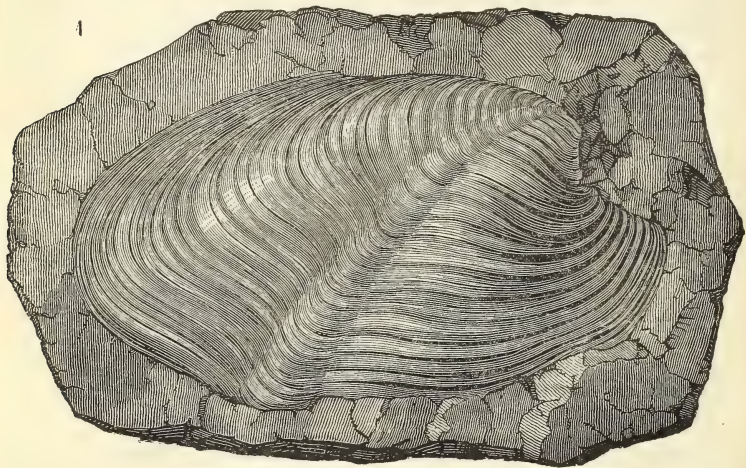
L. proavia Goldf. — Cette espèce, si caractéristique du calcaire dévonien de l'Eifel, se retrouve à Lewis's Creek (Indiana) et près de Louisville (Kentucky), ainsi que dans le terrain erratique aux environs de Dayton (Ohio). C'est une des espèces sur lesquelles j'établis le parallélisme de la partie supérieure du *Cliff limestone* avec le système dévonien d'Europe.

NOTA. On trouve encore à Maguagon, près Détroit (Michigan), et près de Louisville (Kentucky), une autre Lucine plus transverse et qui a

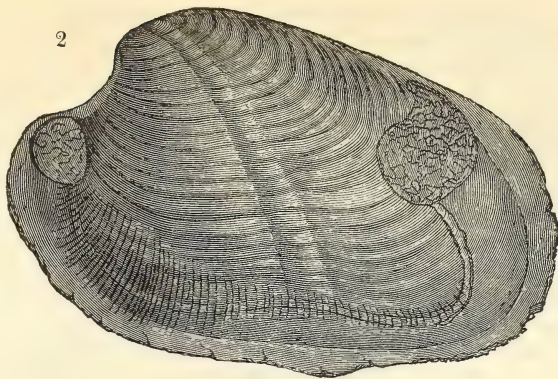
beaucoup d'analogie avec la *L. Dufrenoyi*, Arch. et Vern., du calcaire de l'Eifel.

Grammysia Hamiltonensis Nob. — Ne pouvant négliger cette espèce, qui a une grande importance par l'étendue de sa distribution, et ne trouvant pas de genre où elle puisse entrer convenablement, nous avons cru devoir établir pour elle le genre *Grammysia*, que nous caractérisons de la manière suivante : coquille équivalve, inéquilatérale, non bâillante, munie de deux impressions musculaires très inégales ; impression palléale arrondie postérieurement et venant aboutir à la grande impression musculaire, de manière à en laisser les $\frac{2}{3}$ en dehors ; ligament extérieur assez prolongé dans la dépression du corselet ; surface traversée par une côte oblique, qui se rend du crochet au milieu du bord inférieur, et par quelques plis concentriques arrondis. Par l'inégalité de ses impressions musculaires et par la forme de l'impression palléale cette coquille semble devoir être placée près des *Cypri-cardes* et des *Cyprines*. Ce genre, si bien caractérisé par la côte médiane qui traverse les valves, renferme plusieurs espèces, dont l'une a été nommée *Nucula cingulata* par M. Hisinger.

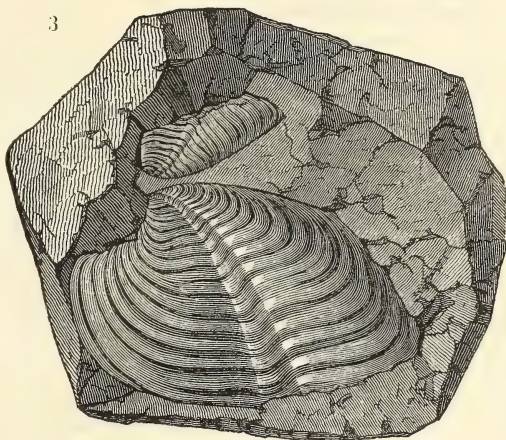
La *Grammysia Hamiltonensis* se distingue de la *N. cingulata*, que l'on trouve en Gothland et à Dudley, par sa forme moins transverse et par la position de ses crochets plus éloignés du bord extérieur. Elle est abondante dans le groupe d'Hamilton (New-York), et se trouve en Europe dans le calcaire de Nehou (Manche), et dans les grauwackes de Daun (Eifel). Nous en donnons ici plusieurs figures. Les échantillons représentés sous les nos 4 et 3 proviennent du *Hamilton group* de l'État de New-York, et celui qui porte le n° 2 est un moule intérieur trouvé dans le calcaire de Nehou (France).



2



3



Sanguinolaria dorsata Goldf. — Cette espèce, du calcaire dévonien de l'Eifel, se retrouve dans le groupe d'Hamilton de l'Etat de New-York.

Cardium loricatum Goldf. — Comme la précédente, cette coquille est commune au calcaire dévonien de l'Eifel et aux couches d'Hamilton (New-York). Elle nous paraît plus voisine du genre *Allorisma* que des véritables *Cardium*.

Allorisma sulcata (*Sanguinolaria* Phill.); (*Pholadomya elongata* Morton). — Cette espèce se trouve en Amérique dans le voisinage des couches de houille, notamment à Blossburg (Pennsylvanie); dans l'Ohio; à la charbonnière Saint-Charles (Missouri) et aux environs de New-Harmony (Indiana). En Europe, sa présence a été signalée dans l'étage houiller de Northumberland.

Terebratula cuboides Sow. — En Europe, cette espèce est commune aux systèmes dévonien et carbonifère, tandis que dans l'Etat de New-York elle n'a encore été trouvée que dans quelques couches cal-

caires de peu d'épaisseur, qui font partie du *Hamilton group*, et que nous considérons comme dévoniennes. En Amérique elle a moins de plis qu'en Europe : (six au sinus au lieu de huit à onze.)

T. deflexa Sow. in Murch. — Cette espèce est un peu plus grande en Amérique qu'en Europe, mais elle y offre d'ailleurs les deux principaux caractères qui la distinguent, savoir : les plis dichotomes et la grande épaisseur de la valve ventrale. Celle-ci peut être facilement prise pour la valve dorsale, et le sinus paraît alors occuper, relativement aux valves, une position inverse à celle qu'il occupe dans la plupart des espèces. C'est probablement ce qui lui a fait donner le nom de *T. deflexa*. Cette espèce se rencontre dans le calcaire de Wenlock, en Angleterre, et dans les argiles à Delthyris, de l'Etat de New-York, immédiatement au-dessus du calcaire à *Pentamerus galeatus*.

T. cuneata Dalm. — Cette espèce se trouve à Lockport dans les calcaires de Niagara, qui correspondent à ceux de Wenlock et de Gothland, où elle existe également.

T. reticularis Linné; (*T. prisca* Schlot.). — De même qu'en Europe, cette espèce présente deux variétés propres à deux systèmes de couches différens ; une petite dans les couches siluriennes, et une grande dans les dépôts dévonien. La première se trouve à Madison et à Richmond (Indiana), à la base du *Cliff limestone* ; à Lockport, dans les groupes de Clinton et de Niagara ; dans les argiles à Delthyris de l'Etat de New-York ; sur la rivière Ottawa, et à Gaspé (Canada). Elle s'élève jusque dans le calcaire dévonien d'Onondaga. La grande variété est exclusivement dévonienne, et se trouve dans les calcaires correspondant au *Corniferous limestone*, à Columbus (Ohio) ; à Lewis's Creek (Indiana) ; aux rapides de l'Ohio, près Louisville ; aux carrières de Maguagon, près Détroit (Michigan) ; enfin dans le groupe d'Hamilton, à Moscow (New-York) et dans ceux de Portage et de Chemung, où elle prend une forme assez semblable à la variété *explanata* de l'Eifel. Ainsi donc, sous ces diverses formes, la *T. reticularis* s'étend depuis la base de l'étage silurien supérieur jusque dans le système dévonien, mais elle ne pénètre ni dans l'étage silurien inférieur ni dans le système carbonifère. C'est exactement la même distribution qu'en Europe.

T. aspera Schlot. ; (*T. spinosa* Hall). — On trouve dans le groupe d'Hamilton, à Moscow (New-York), une Térébratule à plis larges et prolongés en tubes, si semblable aux beaux échantillons des couches dévonien de Ferques, en France, qu'on ne peut y découvrir la moindre différence. La *T. aspera* offre, comme la *T. reticularis*, une petite variété qui, en Europe, descend dans les dépôts siluriens de la Suède et de la Bohême. Cette petite variété se trouve à Columbus (Ohio) ; près Louisville (Kentucky) ; à Maguagon, près Détroit (Michigan) ; dans le comté de Perry (Tennessee), et à Gaspé (Canada). Ces deux dernières localités seules sont siluriennes.

T. concentrica Buch. — Une des espèces les plus caractéristiques du système dévonien, et qui n'a jamais été trouvée plus bas. Elle se montre en Amérique, à différents niveaux, dans l'épaisseur des couches qui correspondent au système dévonien d'Europe, par exemple,

dans les calcaires de Louisville (Kentucky), dans ceux de Charleston landing et de Washington (Indiana), dans les schistes et dans les psammites d'Hamilton (New-York); elle s'élève même jusque dans le *Chemung group*.

T. tumida Dalm. — Cette espèce, trouvée par le professeur Troost dans le système silurien supérieur du comté de Perry (Tennessee), appartient aussi, en Europe, aux dépôts du même âge, soit à Dudley, soit dans l'île de Gothland.

T. Wilsoni Sow. — C'est encore à M. le professeur Troost qu'on doit la découverte en Amérique de cette espèce, si commune de ce côté-ci de l'Atlantique. La *T. Wilsoni* appartient en général au système silurien supérieur. Elle est représentée dans le système dévonien par des espèces à plis plus fins et plus nombreux. La variété trouvée dans le comté de Perry (Tennessee) est analogue tout à fait à celle des couches siluriennes de Gothland.

T. Roissyi Lév. — Cette espèce, carbonifère en Europe, l'est aussi en Amérique. Elle se trouve dans les psammites micacés inférieurs au calcaire carbonifère des environs de Louisville (Kentucky), et dans l'étage houiller lui-même, sur les bords de la rivière Wabash, près Terre-Haute (Illinois), et à Greensburg (Ohio).

T. planosulcata Phill. sp. — Cette espèce, du système carbonifère d'Europe, occupe la même position stratigraphique en Amérique. Nous l'avons trouvée dans des calcaires alternant avec les grès et les schistes houillers à Zanesville (Ohio); entre Mont-Vernon et Harmony (Indiana), et à Sparta (Illinois).

Pentamerus oblongus Sow. — Espèce très intéressante et très répandue. Les formes ordinairement réunies sous ce nom en Amérique sont si variables qu'il y aurait peut-être lieu de les séparer en plusieurs espèces ou variétés. Ces diverses formes se trouvent toujours à la même hauteur dans la série paléozoïque, et constituent un des horizons les plus importants. En Amérique, comme en Angleterre, le *P. oblongus* se rencontre à peu près au point de jonction des étages inférieur et supérieur du système silurien, mais dans des couches qui semblent avoir plus de rapport avec l'étage supérieur, tandis qu'en Angleterre les couches où il se trouve paraissent se lier davantage avec l'étage inférieur. Dans l'État de New-York, le *P. oblongus* est limité à quelques couches calcaires de peu d'épaisseur, qui font partie de l'étage de Clinton. Dans l'ouest des États-Unis, le calcaire qui le renferme s'épaissit considérablement, et forme la base du *Cliff limestone* à Springfield et à Dayton (Ohio); à Richmond (Indiana); à Galena (Illinois); à Dubuque et autres localités (Iowa); à la pointe Seulchoix (Green bay); à Lime-kiln island, et aux autres îles du lac Huron. M. Logan l'a trouvé aussi sur la rivière Ottawa et à Gaspé (Canada). Le *P. borealis* Eichw., qui est assez voisin du *P. oblongus*, occupe en Russie le même horizon.

P. galeatus Dalm. sp. (*Terebratula tumida* Eichw.) (4). —

(1) Il existe au-dessus des argiles à Delthyris de l'État de New-York un

Cette espèce, qui, en Europe, est commune au calcaire silurien de Wenlock et au calcaire dévonien de l'Eifel, ne se rencontre en Amérique que dans le système silurien, où elle occupe une position un peu plus élevée qu'en Angleterre. Elle manque en effet dans les calcaires de Niagara, équivalents de ceux de Wenlock, et ne se trouve qu'au-dessus du groupe salifère et du calcaire hydraulique. Quand ces divers sous-étages manquent, le *P. galeatus* est en contact avec le calcaire de Niagara. C'est ce qui a lieu probablement dans le comté de Perry (Tennessee), où M. Troost a découvert cette espèce. Le *P. galeatus* est une des coquilles les plus répandues dans l'hémisphère boréal, et se trouve depuis le Tennessee jusque dans l'Oural.

Spirifer cyrtæna Dalm. — Cette espèce occupe à Lockport la même position qu'en Europe. A Springfield (Ohio) et à Madison (Indiana) elle est peut-être un peu plus bas dans la série.

On trouve encore à Lockport une espèce couverte, comme le *S. cyrtæna*, de stries très fines, et qui a la plus grande analogie avec le *S. interlineatus* : c'est le *S. Niagarensis*. En général, les *Spirifer* ornés de stries très fines et de côtes, que nous avons nommés ailleurs *costato-striés*, appartiennent au système silurien. Le *S. mesastrialis* de Chemung est la seule exception à cette règle.

S. sulcatus Dalm. (*Delthyris decemplicata* Hall). — Occupe à Lockport la même position que dans l'île de Gothland.

S. crispus Dalm. (*D. staminea* Hall). — Cette espèce, quelquefois confondue avec la précédente, s'en distingue par ses stries concentriques fines et non écailleuses, ainsi que par l'area, plus courte que la longueur totale de la coquille. Nous possédons des échantillons de Gothland et de Dudley identiques avec ceux qu'on trouve en Amérique, dans les couches de Niagara et du comté de Perry (Tennessee).

S. bilobus Linné sp. (*S. sinuatus* et *cardiospermiformis*) ; (*Delthyris varica* Conr.). — Cette petite espèce si remarquable de l'étage de Wenlock se trouve dans des roches équivalentes à Rochester (New-York) ; mais elle est plus abondante encore dans des couches plus récentes, c'est-à-dire dans les argiles à Delthyris ; c'est à celle-ci que M. Conrad a donné le nom de *D. varica*, comme se distinguant de l'autre par une charnière plus courte, par une forme générale plus élargie et par un sinus plus profond. Une comparaison exacte des deux variétés avec le *S. bilobus* d'Europe nous a engagé à les réunir.

S. mucronatus Conr. (*S. comprimatus* Schlot.). — Il est assez probable, ainsi que le pense M. Roemer, que ces deux espèces ne sont que des variétés l'une de l'autre, bien qu'il y ait entre elles une grande différence de taille, l'espèce d'Amérique étant beaucoup plus grande que celle de l'Eifel. Cette coquille est très abondante dans le *Hamilton group* de l'État de New-York, et se trouve assez souvent dans le dilu-

Pentamère extrêmement voisin du *P. galeatus*, mais qui est entièrement dépourvu de plis. Cette espèce nous paraît être identique avec celle qu'on trouve dans les couches siluriennes supérieures de la Bohême, ainsi qu'avec le *P. globus* (*Trigonotreta* Bronn) du calcaire dévonien de l'Eifel.

vium de l'État d'Ohio, à Harrisville près Médina, et aux environs de Dayton. On la rencontre aussi dans les psammites de Chemung (New-York) à un niveau plus élevé. Le petit pli qu'elle porte au milieu du sinus, quelque indifférent qu'il paraisse, est caractéristique de plusieurs espèces dévoniennes, et n'a pas été observé dans les espèces plus anciennes.

S. macropterus Roemer. — Nous avons trouvé en abondance dans les grès d'Oriskany des moules tellement semblables à la figure que M. Roemer a donnée de cette espèce (*Rhein.*, pl. 4, fig. 3), que nous ne pouvons nous empêcher de les réunir. Nous avons aussi comparé nos échantillons d'Amérique avec ceux que nous possédons de la grauwacke de Daun (Eifel), et nous n'y avons reconnu aucune différence. Ce fait semble impliquer le parallélisme des grès d'Oriskany avec les grauwackes de l'Eifel.

S. cultrijugatus Roemer (*Delthyris prora*? Conrad). — C'est la seule espèce du système dévonien qui offre quelque trace de dichotomie dans les plis latéraux. Il est très remarquable de retrouver cette espèce aux États-Unis dans trois étages différents (nos 17, 21 et 23 du tableau). C'est un des motifs qui nous ont engagé à placer ensemble les grès d'Oriskany, le *Corniferous limestone* et l'*Hamilton group* dans le système dévonien. Localités : Monts-Helderberg, West-Hamilton (New-York), Columbus (Ohio), Charleston landing (Indiana).

S. heteroclitus Defr. — Espèce abondante dans le système dévonien sur une assez grande portion de l'hémisphère boréal, caractérisée par une lamelle verticale au milieu de la valve dorsale, comme chez les Pentamères, et par une ouverture triangulaire étroite et cicatrisée. Nous la connaissons dans les monts Timans, au nord de la Russie; sur les bords du Rhin; en Bretagne; en Espagne et en Angleterre. Elle s'élève jusque dans le système carbonifère de Tournay, mais n'a jamais été trouvée dans les couches siluriennes. En Amérique, nous l'avons recueillie dans le *Corniferous limestone* de Louisville et dans le *Hamilton group* de New-York. Nous en avons vu dans la collection de M. Vanuxem un petit échantillon que ce savant disait avoir été trouvé dans les argiles à Delthyris, que nous considérons comme siluriennes.

S. Verneuli Murch. (*D. cuspidata* Hall). — Il n'y a pas de différence appréciable entre les échantillons du *Chemung group* de New-York et ceux du système dévonien de Belgique ou de Ferques, en France.

S. lineatus Mart. — Une des espèces les plus abondantes dans les calcaires subordonnés aux schistes et aux grès houillers. Elle se trouve à Zanesville, à Flintridge et à Greensburg (Ohio); sur la Wabash, près Terre-Haute (Indiana), et à la charbonnière Saint-Charles (Missouri). En Europe, elle appartient au calcaire carbonifère dans un grand nombre de localités.

S. striatus Mart. — Cette espèce de nos calcaires carbonifères se présente au même horizon dans les États-Unis. Nous la connaissons dans les psammites micacés des environs de Louisville (Kentucky) et au pied de Paradise-Hill (Tennessee); dans le calcaire de montagne,

près Jefferson (Missouri) ; à Hannibal, Oquawka et Burlington, sur les bords du Mississipi.

S. attenuatus Sow. — Cette espèce, qui n'est peut-être qu'une variété de la précédente, est propre aux couches carbonifères, en Amérique comme en Europe; nous l'avons trouvée à Harrisville, à Greensburg et à Zanesville (Ohio).

NOTA. On trouve encore à Zanesville, dans les calcaires de l'étage houiller, un *Spirifer* facile à confondre avec le *S. attenuatus*, mais qui paraît plus voisin du *S. fasciger* Keyserling, du calcaire carbonifère du nord de l'Oural.

S. cuspidatus Mart. — Cette belle espèce se rencontre en Amérique dans deux étages du système carbonifère, c'est-à-dire tout à fait à la base, dans les couches à encrines subordonnées aux psammites micacées et dans le calcaire de montagne. Elle occupe la première position à Harpeth ridge (Tennessee), et la seconde à Nauvoo, près des rapides du Mississipi.

S. lynx Eichw. — Une des coquilles les plus répandues en Amérique. Elle présente des variétés nombreuses, qui, dans les collections, ont été souvent érigées en espèces; mais ces espèces sans fixité, et fondées sur le nombre variable des plis ou sur la forme plus ou moins transverse de la coquille, ne peuvent être conservées. Dans notre ouvrage sur la Russie, nous avons considéré cette espèce comme tout à fait anormale parmi les *Spirifer*. Nous ne savions pas alors ce que nous avons pu vérifier depuis sur des centaines d'échantillons, c'est qu'elle ne possède pas d'armature spirale interne. C'est la seule espèce de *Spirifer* où cette armature manque, et, sous ce rapport, elle se rapproche des *Orthis* (1), avec lesquels elle a déjà des affinités par sa double area et par sa valve ventrale, plus épaisse que l'autre valve.

En Amérique comme en Russie, cette espèce est très abondante dans l'étage silurien inférieur. A Trenton (New-York), elle est toujours petite comme aux environs de Saint-Petersbourg, tandis que, dans le grand bassin de l'Ouest, elle acquiert une taille considérable. Elle est extrêmement commune dans les États d'Ohio, d'Indiana, de Tennessee; elle a aussi été découverte sur la côte de la baie de Noquet, à l'entrée de la baie Verte (lac Michigan), et dans plusieurs points du Canada, entre autres à Montréal. C'est principalement dans le calcaire bleu qu'elle domine; cependant nous en avons découvert quelques individus à l'état de moule dans le calcaire magnésien de Springfield (Ohio), qui correspond au *Clinton group* de New-York. Elle n'est donc pas renfermée dans l'étage silurien inférieur, et s'élève dans les premières couches de l'étage supérieur. Il en est de même en Angleterre.

Orthis testudinaria Dalm. — Espèce assez rare dans l'étage silurien inférieur d'Europe, et très commune, au contraire, au même horizon dans les États-Unis. On la rencontre dans les localités suivantes:

(1) Les *Orthis*, de même que les *Leptæna*, les *Chonetes* et les *Productus*, ne présentent jamais de spires solides analogues à celles des *Spirifer* et de certaines Térébratules.

Trenton, Middleville, Sacket's-Harbour (New-York); Davidson Co. (Tennessee); Cincinnati, Oxford (Ohio); Fever-river, près Galena (Illinois); Madison (Indiana); Montréal, Quebec, et sur la rivière Ottawa (Canada). Elle n'est pas limitée au calcaire de Trenton, et s'élève dans les schistes de la rivière Hudson, qui appartiennent encore à l'étage silurien inférieur.

O. elegantula Dalm. (*O. canalis* Murch.). — Cette espèce, assez voisine de la précédente, se rencontre dans des couches plus récentes. En Amérique comme en Europe, elle y caractérise, soit à Rochester (New-York), soit dans le comté de Perry (Tennessee), des schistes et des calcaires qui sont les équivalents de ceux de Wenlock ou de Gothland.

O. hybrida Sow. — Associée à la précédente des deux côtés de l'Atlantique, cette espèce est toujours propre à l'étage silurien supérieur; on la trouve dans le *Niagara group*, à Rochester et à Lockport (New-York); dans le comté de Perry (Tennessee); sur la rivière Chatte, district de Gaspe (Canada).

On la trouve aussi plus haut dans les argiles à Delthyris des monts Helderberg.

O. striatula Schlot. — Cette espèce dévonienne se rencontre dans les calcaires de Tully (New-York). Nous ne sommes pas certain qu'elle ne descende pas plus bas.

O. Verneuili Eichw. — C'est avec un sentiment de plaisir que nous avons reconnu cette belle espèce des couches siluriennes inférieures de Russie dans les magnifiques collections de M. Logan, à Montréal. Ce savant distingué l'avait trouvée à Jesseps Rapids, sur la rivière Ottawa, dans des couches du même âge que celles de Trenton.

O. umbonata Conr. — Petite espèce bien caractérisée des schistes d'Hamilton, que l'on trouve en abondance à Moscow (New-York). Elle a été récemment découverte à Gahard (Bretagne) dans des calcaires dévoniens.

O. crenistria Phill. sp. — Nous avons ici le rare exemple d'une espèce commune aux systèmes dévonien et carbonifère. C'est dans le *Corniferous limestone*, à Camp creek et à Charleston landing (Indiana), qu'elle se montre pour la première fois. On la retrouve dans le *Chemung group*, à Tioga (Pennsylvanie), et plus haut, dans les divers étages du système carbonifère, aux localités suivantes: Harrisville, Guernsey (Ohio); sud de Louisville (Kentucky); New-Albany, Elisabeth-town (Indiana); Saint-Louis et charbonnière Saint-Charles (Missouri); rapides du Mississipi. En passant à travers des étages si différents, cette espèce offre des variétés assez nombreuses. Dans les couches carbonifères, aux environs de New-Albany et près des rapides du Mississipi, elle est très grande et rappelle certaines variétés d'Angleterre, qui tiennent le milieu entre l'*O. crenistria* et l'*O. senilis* Phill.

L'*O. crenistria*, par une concordance remarquable, est aussi en Europe une espèce à la fois dévonienne et carbonifère; elle est répandue sur une immense étendue, depuis l'Altaï et le nord de l'Oural, jusqu'en France et en Angleterre.

Orthis resupinata Mart. sp. — Cette espèce, en général plus grande

que l'*O. striatula*, dont il est au reste souvent bien difficile de la distinguer, se trouve dans le calcaire carbonifère des environs de Saint-Louis (Missouri).

O. Michelinii Lév. sp. — Cette espèce est assez répandue dans les divers étages carbonifères. On la trouve dans les psammites micacées de la partie inférieure, à Newark (Ohio); près de Louisville (Kentucky); à White creek springs (Tennessee), et dans le calcaire houiller proprement dit, à Zanesville (Ohio). Les schistes dévonien de Hamilton renferment une *Orthis* qui, à l'extérieur, ne peut guère se distinguer de l'*O. Michelinii*. M. Hall croit cependant qu'il y a quelque légère différence dans la disposition interne. L'*O. Michelinii* caractérise le système carbonifère sur une grande partie de l'Europe, et a été signalée dans l'Oural, en Espagne, en Belgique et en Angleterre.

Leptaena subplana; (*Stroph. id.* Conr.). — Cette coquille, dont nous ne connaissons qu'un individu incomplet, nous paraît identique (autant qu'on peut en juger sur une valve isolée) avec un *Leptaena* de Nehou, en Normandie. Si cette comparaison est exacte, cette espèce serait dévonienne en France, tandis qu'aux Etats-Unis elle appartenait aux couches siluriennes.

Leptaena depressa Sow. — Les diverses variétés que présente cette espèce se lient les unes aux autres par des nuances si insensibles, que nous les laissons provisoirement sous le même nom. La variété propre à l'étage silurien inférieur n'a que six à sept anneaux d'accroissement, assez irréguliers et peu continus. Elle offre, au sommet de la valve dorsale, une ouverture fort petite, et pourrait être considérée comme une espèce distincte. Nous ne la connaissons que du calcaire bleu de Madison (Indiana), et des environs de Nashville. La variété type abonde dans l'étage silurien supérieur, à Clinton, à Rochester, à Lockport (New-York); dans le comté de Perry (Tennessee); à Chicago (Illinois) et à Gaspé (Canada). Elle est là au même niveau que dans l'île de Gothland ou à Dudley. Celle qu'on rencontre plus haut et dans les argiles à Delthyris est à peu près identique; on y compte environ neuf à dix anneaux d'accroissement. Le calcaire d'Onondaga et le calcaire cornifère, qui font pour nous partie du système dévonien, ont aussi leur variété, qui est ornée de douze ou treize anneaux d'accroissement; puis vient enfin celle que nous avons trouvée à Harrisville (Ohio), à la base du système carbonifère, et qui a quatorze anneaux d'accroissement. Cette gradation dans le nombre des anneaux s'observe également en Europe, quand on compare des échantillons de *L. depressa* recueillis à des hauteurs différentes dans la série paléozoïque, car, de ce côté-ci de l'Atlantique comme de l'autre, cette espèce possède cette propriété si rare de traverser trois des systèmes du terrain paléozoïque.

L. transversalis Dalm. — Propre aux couches de Rochester et de Lockport, qui représentent celles de Wenlock et de Gothland, où elle se trouve également.

L. Dutertii Murch.; (*Strophomena inæquistriata* Conr.). — Cette espèce caractéristique du système dévonien à Ferques, près Bou-

logne, se rencontre dans le *Hamilton group* de l'Etat de New-York, et principalement à Moscow. Elle est voisine de l'*O. interstitialis* Phill; mais elle s'en distingue par le moindre espace qui sépare les stries principales et par le moindre nombre des stries secondaires.

L. laticosta Conr. — Cette espèce, du groupe d'Hamilton, se trouve à Daun dans les schistes inférieurs au calcaire de l'Eifel et dans le calcaire dévonien de Gahard, en Bretagne. La découverte qu'en a faite M. Marie Rouault, dans cette dernière localité, est d'autant plus intéressante, que, par ses plis larges et non dichotomes, cette espèce s'éloigne de tous ses congénères, et que son identification n'offre aucune incertitude.

Chonetes nana Nob. — On trouve dans la partie supérieure du *Cliff limestone*, à Louisville, près des rapides de l'Ohio et à Charleston landing (Indiana), un petit *Chonetes* semblable à celui que le comte de Keyserling a découvert dans les couches dévoniennes de Voronège, en Russie.

C. sarcinulata Schlot. — Lorsque nous étions à Oxford (Ohio), M. Christy nous a donné plusieurs échantillons d'une petite coquille qu'il avait trouvée dans les schistes houillers de Guernsey (Ohio), et qui est identique avec la variété du *C. sarcinulata*, si abondante dans le calcaire carbonifère de Russie. Le *C. sarcinulata* existe aussi en Belgique et en Angleterre.

Productus subaculeatus Murch.; (*Strophomena lacrymosa* Conr.). — Petite espèce propre au système dévonien, et qu'on n'a jamais encore observée plus bas. En Amérique, on la voit apparaître pour la première fois dans le *Corniferous limestone* de Charleston landing et de Lewis's creek (Indiana), où elle est associée au beau poisson décrit par M. Norwood sous le nom de *Macropetalichthys rapheidolabis*; elle se continue à travers tous les étages dévoniens, tels que ceux de Hamilton, de Portage et de Chemung. Le *Strophomena pustulosa* Hall, des schistes de Marcellus, est encore un *Productus* appartenant à ce type; mais il est plus déprimé, et nous le réunissons provisoirement au *P. Murchisonianus* Kon. Le *P. subaculeatus* est un des fossiles les plus répandus dans l'hémisphère boréal; nous le connaissons en Russie, depuis le gouvernement de Novogorod, jusque sur les rivières Wol et Uchta, affluents de la Petchora, au nord, et jusqu'à Voronège, au sud; nous en avons même un échantillon venant de l'Altaï. Partout, en Russie, comme en Belgique, en France et en Angleterre, cette espèce est dévonienne.

P. semireticulatus Mart. — Se trouve à tous les étages carbonifères, savoir: dans les psammites micacés, à Harrisville, Bagdad et Cuyahoga (Ohio); près Louisville (Kentucky); dans le calcaire carbonifère, aux environs de Saint-Louis, et sur la rivière Missouri, près des cantonnements de Leavensworth; en Alabama et en Tennessee; dans les calcaires subordonnés aux grès et schistes houillers, à Zanesville, Flintridge, Greensburg et Antrim (Ohio); à Long creek, à Crawfordville, et près de New-Harmony (Indiana); à Sparta (Illinois); à la charbonnière Saint-Charles (Missouri), et enfin à Blossburg (Pennsylvanie). On sait que cette espèce, si répandue dans l'hémi-

sphère boréal, existe aussi dans l'autre hémisphère, et a été trouvée par M. d'Orbigny près du lac de Titicaca, au Pérou. Il est remarquable que, malgré une distribution horizontale aussi étendue, elle soit, dans le sens vertical, limitée au système carbonifère.

P. Cora d'Orb.; (*P. tenuistriatus* Nob.). — Cette espèce est presque aussi répandue que la précédente, et, de même aussi, elle ne se trouve ni au-dessous ni au-dessus du système carbonifère, mais elle en occupe les divers étages. Nous la connaissons à Louisville (Kentucky); à Bagdad, Flintridge, Zanesville, Guernsey (Ohio); à Sparta (Illinois), et enfin à Windsor (Nouvelle-Ecosse). M. d'Orbigny l'a rapportée avec la précédente des bords du lac de Titicaca, dans l'Amérique méridionale. On la trouve communément aussi en Angleterre, en Belgique, en Russie et jusque sur le revers oriental de l'Oural.

P. Flemingi; (*P. lobatus*). — Cette espèce, comme la plupart des *Productus*, est encore circonscrite dans les limites du système carbonifère, et a, comme les précédentes, une distribution horizontale très étendue. Nous la connaissons à Antrim, Zanesville, Flintridge et Guernsey (Ohio); entre New-Harmony et Mont Vernon, et à Leavensworth (Indiana). Elle existe aussi sur le plateau bolivien, d'où M. d'Orbigny l'a rapportée. Enfin, elle est répartie sur toute la surface de l'Europe, depuis l'Angleterre et l'Espagne jusqu'à l'Oural.

P. punctatus Sow. — C'est l'espèce la plus abondante dans l'Amérique du nord, soit dans les calcaires subordonnés à la houille, soit dans ceux qui lui sont inférieurs. Elle existe presque partout là où se montre le système carbonifère; mais nous ne citerons que les localités d'où nous la connaissons personnellement; ce sont les suivantes : Zanesville (Ohio); sud de Louisville et Eddyville (Kentucky); Blossburg (Pennsylvanie); Clark Co. (Illinois); rapides du Mississipi, etc. Comme la précédente, cette espèce est commune en Angleterre, en Espagne, en Belgique, en Allemagne et en Russie.

P. costatus Sow. — M. de Koninck, dans sa savante monographie des *Productus*, indique cette espèce comme lui ayant été envoyée des calcaires carbonifères de Saint-Louis (Missouri).

Hypanthocrinites decorus Phill. — Ce remarquable crinoïde, qui se trouve dans les couches de Dudley, de Gothland, et dans celles de Lockport ou de Niagara, confirme le parallélisme de ces dépôts. Le professeur Troost a aussi découvert la même espèce dans le comté de Perry (Tennessee).

Cidarites Nerei Munst. — On trouve dans le calcaire carbonifère de Saint-Louis des piquants de *Cidaris* lisses, d'une longueur de 35 millimètres, et que nous rapprochons du *C. Nerei*, du calcaire carbonifère de Belgique. C'est dans les mêmes couches qu'a été découvert ce remarquable crinoïde décrit par MM. Owen et Norwood, sous le nom de *Melonites multipora*. Des fragments de *Cidaris* ont été aussi découverts dans le calcaire carbonifère, à Leavensworth (Indiana), et dans les strates siliceuses du comté de Montgomery (Tennessee). On n'en connaît pas de traces dans le système dévonien.

Favosites Gothlandica Goldf. sp. — Espèce commune, en Amé-

rique comme en Europe, aux systèmes dévonien et silurien supérieur. Les localités siluriennes où nous la connaissons aux Etats-Unis sont les suivantes : Drummond Island ; Lockport, Monts Helderberg, Schoharrie (New-York) ; Chicago (Illinois) ; Richmond (Indiana) ; Perry Co. (Tennessee) ; comme localités dévoniennes, nous citerons Hamilton, Columbus (Ohio) ; rapides de l'Ohio (Indiana) ; Maguagon, près Détroit (Michigan). En Europe, cette espèce ne descend pas plus qu'en Amérique dans la partie inférieure de la série paléozoïque, mais cependant elle commence à se montrer dans les grès de Caradoc.

Fungia Gothlandica Linné. — Petite espèce plate, décrite par Hisinger, sous le nom de *Cyclolites numismalis*. Elle se trouve dans les couches de Clinton, au-dessous de celles de Niagara. Dans l'île de Gothland, c'est dans les argiles inférieures au calcaire, et parallèles à celles de Wenlock, qu'on la rencontre le plus communément.

Porites interstincta (*Madreporites* Wahl. ; *Astræa porosa* Goldf.). — Cette espèce, commune, ainsi que la précédente, au système dévonien et à l'étage supérieur du système silurien d'Europe, ne s'est présentée à nous en Amérique que dans ce dernier gisement ; mais nous ne doutons pas qu'on ne la trouve bientôt aussi dans le système dévonien (1). Localités : Perry Co. (Tennessee) ; rapides de l'Ohio.

Catenipora escharoides. — Espèce très variable, et qui passe par des nuances insensibles au *C. labyrinthica*.

Elle caractérise les groupes de Clinton et de Niagara, qui appartiennent à la base de l'étage supérieur du système silurien. Nous l'avons vue provenant de l'Etat de New-York, du Tennessee, du Wisconsin, d'Iowa, de Richmond (Indiana), de Beargrass, près Louisville, des îles du lac Huron, etc. M. le colonel Jewet, de Lockport, nous l'a donnée comme l'ayant trouvée à Caledonia dans le *Corniferous limestone*. Si le fait est exact, les Caténipores s'élèveraient un peu plus haut aux Etats-Unis qu'en Europe ; mais, en revanche, ils descendraient plus bas sur notre continent, car, d'après le témoignage de M. Murchison, on les trouve en Angleterre jusqu'à la base de l'étage inférieur du système silurien. En Russie, ils ne paraissent descendre que jusqu'au point de jonction des deux étages.

Stromatopora concentrica Goldf. — Cette espèce, en Amérique, parcourt l'ensemble des systèmes silurien et dévonien ; on la trouve près de Nashville, dans le calcaire bleu, et près de Schoharrie (New-York), dans l'étage supérieur du système silurien. Elle se présente dans le système dévonien, près de la rivière Delaware (Ohio), aux rapides de l'Ohio et à Maguagon près Détroit (Michigan). En Europe, elle est également commune aux deux systèmes.

Cyathophyllum mitratum Schlot. ; (*Caninia cornucopiæ* Mich.). — Cette petite espèce, très bien figurée par M. de Koninck dans son

(1) M. Phillips a essayé (*Palæoz. foss.*, p. 14) de distinguer l'une de l'autre les espèces dévoniennes et siluriennes ; il y a, en effet, dans les dépôts paléozoïques plusieurs espèces de *Porites*, mais nous pensons que le *Porites interstincta* se rencontre dans les couches siluriennes et dévoniennes.

bel ouvrage sur les fossiles du système carbonifère de Belgique, a été découverte par le docteur Yandell dans les collines au sud de Louisville. Elle s'y trouve dans les calcaires à encrines, subordonnés aux psammites micacés qui reposent sur le schiste noir, et qui forment la base du système carbonifère.

Amplexus spinosus Koninck. — Nous avons reconnu aussi cette espèce avec la précédente dans la collection du docteur Yandell; elle provient des mêmes couches. On la trouve également dans le calcaire carbonifère de Tournay (Belgique).

Chœtetes Petropolitanus Pand. sp. (*Favorites lycoperdon* Say.). — Ce polypier, très abondant dans l'étage inférieur du système silurien en Amérique, prolonge son existence, selon M. Hall, jusque dans l'étage supérieur, et même dans le système dévonien. Nous ne le connaissons que dans le premier de ces trois gisemens. Il abonde à Middleville et à Trenton-falls (New-York); à Oxford (Ohio); dans le comté de Perry (Tennessee); à Montréal, à Quebec, à Jessep's-Rapids, sur la rivière Ottawa, et enfin dans l'île de Terre-Neuve, d'où il a été rapporté par le capitaine Bayfield. De ce dernier point au comté de Perry (Tennessee) il y a presque 30 degrés de longitude. En Europe, le *C. Petropolitanus* est très commun aux environs de Saint-Petersbourg et près de Christiania, dans des couches contemporaines de celles de Trenton, et n'a jamais été trouvé plus haut. Il existe, il est vrai, dans l'Eifel, un polypier qui lui ressemble extrêmement, mais que M. Lonsdale en a distingué.

C. capillaris Phill. sp. — Cette espèce si caractéristique du calcaire carbonifère de Russie est rare en Amérique aussi bien qu'en Angleterre. Le docteur Norwood l'a trouvée sur les bords de l'Ohio, à Newburg, près Evansville (Indiana), et le professeur Troost, au pied des monts Cumberland, dans le Tennessee.

Fusulina cylindrica Fisch. — Rien ne nous a plus intéressé que de retrouver aux États-Unis cette espèce, si caractéristique, en Russie, du calcaire carbonifère, et qui manque dans toute la partie occidentale de l'Europe. C'est à Flint-Ridge (Ohio), au milieu de l'étage houiller, que cette coquille se rencontre. La roche siliceuse de cette localité est criblée de petites cavités laissées par les *Fusulines*, et c'est en partie à cette circonstance qu'elle doit sa qualité comme pierre meulière, usage auquel on l'emploie.

Cornulites serpularius Schlot. — Cette espèce, de l'étage supérieur silurien en Europe, se retrouve dans les groupes de Clinton et d'Hamilton. Les *Cornulites* sont encore très mal connues, et plusieurs ne sont que des tiges de Cystidées, ainsi que l'a démontré M. Volborth : c'est ce qui nous paraît avoir lieu pour le *C. arcuatus* Conr., du *Niagara group*.

Pleurodyctium problematicum Goldf. — Quoique de nature énigmatique, ce fossile est d'une utilité incontestable en géologie par les caractères tranchés qui le distinguent et qui permettent d'en identifier avec certitude les divers échantillons recueillis dans des localités distantes les unes des autres. Le *P. problematicum* appartient, en Europe, aux couches intermédiaires entre les systèmes silurien et dévo-

nien, c'est-à-dire aux grès argileux inférieurs au calcaire du Devonshire, aux mêmes grès à Nehou (Normandie), et aux grauwackes fossilifères des bords du Rhin, immédiatement au-dessous du calcaire de l'Eifel.

Aux États-Unis, cette espèce se trouve à Camp creek (Indiana), dans un calcaire parallèle au *Corniferous limestone* de l'État de New-York.

Tentaculites ornatus Sow. — M. Hall réunit à l'espèce de Wenlock le Tentaculite si abondant dans le calcaire hydraulique ou *Water lime* de l'État de New-York, tandis que M. Conrad l'assimile au *T. annulatus* Schlot. La distribution du genre Tentaculite en Amérique mérite quelque attention. Les auteurs en ont reconnu 4 espèces : 1° *T. ornatus*, du *Water lime*; 2° *T. minutus* Hall, du *Clinton group* (c'est, je pense, le *T. parvus* de Conrad); 3° *T. scalaris* Schlot., du *Corniferous limestone*; 4° enfin, *T. fissurella* Hall, des schistes de Marcellus et de Genessee. Comme on le voit, les Tentaculites sont circonscrits à la partie moyenne du terrain paléozoïque, et ne se trouvent ni dans l'étage inférieur du système silurien, ni dans le système carbonifère.

Graptolites. — Bien que la spécification soit assez incertaine dans ce genre, il nous semble qu'il y a une ou deux espèces communes entre les schistes d'*Hudson-River* et ceux de la Dalécarlie (1). Ces derniers, que nous considérons comme supérieurs au calcaire rouge à Orthocératites, occupent la même position que les schistes d'Hudson. La distribution des Graptolites, rapprochée de celle des Tentaculites, n'est pas dénuée d'intérêt. Ils sont d'un degré plus bas dans l'échelle géologique; très abondants dans l'étage inférieur du système silurien, ils s'élèvent à peine dans l'étage supérieur à Clinton, et n'ont jamais été observés dans les systèmes dévonien et carbonifère. En Europe également on n'a jamais signalé leur présence dans ces deux systèmes.

P. S. Depuis que cette note a été communiquée à la Société géologique, M. de Buch a eu la complaisance de mettre à notre disposition une petite collection de fossiles d'Arménie, qu'il a reçue dernièrement de M. le professeur Abich, et dans laquelle nous avons reconnu plusieurs des espèces dont il vient d'être question. L'examen de ces fossiles permet d'assurer qu'il existe en Arménie des dépôts analogues aux dépôts dévoniens et carbonifères d'Europe et d'Amérique. Les couches dévoniennes, soit dans la vallée d'Arpatschai, soit dans celle de Bagarrach, ou près du couvent de Corverab, contiennent les *Terebratula*

(1) M. Hall, dans l'ouvrage qu'il prépare en ce moment sur la paléontologie de l'état de New-York, distingue dans les schistes d'Hudson 14 espèces de Graptolites, parmi lesquelles il reconnaît comme identiques avec des espèces de l'Europe les *G. pristis*, *sagittarius*, *scalaris* et *tenuis*.

reticularis, *T. aspera*, *Spirifer heteroclitus*, *S. Archiaci*, *S. Verneuili*, *Productus subaculeatus*, *Favosites spongites* et *F. polymorpha*, tandis que le système carbonifère, dans la vallée de Dsynserly et dans le Baranko de Gyneschick, est représenté par le *Spirifer mosquensis* et par un *Productus* voisin du *P. semireticulatus*.

Berlin, 45 juillet 1847.

Séance du 3 mai 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Ch. Martins, secrétaire pour l'Étranger, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

L'abbé BAZIN aîné, à Quimper (Finistère), présenté par MM. le vicomte d'Archiac et de Verneuil ;

SALOMON, naturaliste au Muséum d'histoire naturelle, place Saint-Victor, 36, à Paris, présenté par MM. Charles d'Orbigny et Marcou.

M. le Président annonce ensuite une présentation.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le ministre de la marine, 1^o *Voyage au Pôle sud et dans l'Océanie sur les corvettes l'Astrolabe et la Zélée, pendant les années 1837, 1838, 1839 et 1840*, sous le commandement de M. J. Dumont d'Urville; texte in-8^o; Zoologie, t. I, II. Paris, 1846, chez Gide. — Planches in-f^o, livraisons 5, 6, 7, 8, 9, — 17, 18, 19, 20, 21, 22, — 34 et dernière.

2^o *Voyage autour du monde sur la frégate la Vénus pendant*

les années 1836, 1837, 1838, 1839, par M. Abel du Petit-Thouars. — Planches in-f^o, livraisons 12 à 19 et dernière.

De la part de M. le Dr A. Boué, 1^o *Notes*, etc. (Notes sur quelques principes généraux en géologie et sur leurs applications), par J. P. Nichol; in-f^o, 8 p. Édimbourg.....

2^o *The geological structure*, etc. (Structure géologique du globe, d'après Ami Boué), par A. K. Johnson; 1 feuille colombier. Édimbourg, 1847.

De la part de M. A. Delesse, *Sur la villemite*, etc., (extrait des *Annales des mines*.....), in-8^o, 5 p.....

De la part de M. Lortet, *Rapport sur les travaux de la Commission hydrométrique en 1846*, présenté à M. le maire de Lyon; in-8^o, 6 p. et tableaux.

De la part de M. Thomas Davidson, *Observations*, etc. (Observations sur quelques brachiopodes du calcaire de Wenlock, avec la description de plusieurs espèces nouvelles), (extrait du *London geological Journal for february 1847*); in-8^o, 12 p., 4 pl. Londres, 1847.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, 1847, 1^{er} semestre, n^{os} 16—17.

Bulletin de la Société de géographie, 3^e série, t. VII, n^o 39.

L'Institut; 1847, n^{os} 694—695.

The Athenæum; 1847, n^{os} 1018—1019.

The Mining journal; 1847, n^{os} 609—610.

Correspondenzblatt, etc. (Feuille de correspondance de la Société royale d'agriculture de Wurtemberg); nouvelle série, t. XXX, 2^e vol., 3^e cahier.

M. Boucault présente à la Société les fossiles suivants provenant des mines de fer de Veyras près de Privas, Ardèche : 1^o *Belemnites compressus*, 2^o *Ammonites radians*, 3^o *Ammonites variabilis*, 4^o *Ammonites annulatus*...? et 5^o un Nautilé du lias supérieur. Ces fossiles avaient été envoyés comme provenant de l'étage oxfordien. Parmi les fossiles envoyés existait l'*Ammonites bifrons* ou *Walcotii*.

M. Berthelot montre un beau relief de l'île de Ténériffe.

M. Delbos lit le travail suivant :

Notice géologique sur les terrains du bassin de l'Adour,
par M. J. Delbos (1).

Introduction. — Le bassin de l'Adour, dans le sens le plus large qu'on attache à ce mot en hydrographie, comprend tout le pays sillonné par les différents cours d'eau qui vont se réunir à la vallée principale de l'Adour. Afin d'éviter tout malentendu, je lui assignerai pour limites, au N., le département de la Gironde, à l'E., la vallée de la Baïse, et au S., la chaîne des Pyrénées. Il comprend donc les départements entiers des Landes et des Basses-Pyrénées, une partie du département du Gers, et un étroit ruban de celui des Hautes-Pyrénées.

Les descriptions qui feront le sujet de cette note n'auront pour objet que la partie du bassin de l'Adour située au N. du Gave de Pau (2). — La vallée de l'Adour sépare, dans le département des Landes, le pays qui nous occupe en deux parties singulièrement distinctes par les caractères orographiques qu'elles présentent : le Marensin, qui s'étend sur la rive droite, et la Chalosse, qui forme la rive gauche et est limitée, au S., par le Gave de Pau. — Le Marensin est ce vaste pays sablonneux qui constitue les Landes proprement dites. C'est une plaine aride extrêmement unie, assez élevée, dont la surface incline doucement vers l'Océan et vers l'Adour. Elle est traversée par deux rivières principales : la Midouze, qui vient se jeter dans l'Adour, entre Dax et Saint-Sever, et la Douze, qui se réunit à la Midouze à Mont-de-Marsan.

(1) Cette notice est un court résumé des observations que j'ai faites dans les départements des Landes et des Basses-Pyrénées, observations qui feront l'objet d'un travail spécial. Parmi les faits relatifs aux superpositions, il en est quelques uns que je suis obligé de ne donner qu'avec la réserve que nécessite tout travail non encore terminé sur un ensemble de terrains aussi compliqué que celui du bassin de l'Adour.

Je me proposais d'abord de ne publier la description de ce bassin que lorsque j'aurais assez de matériaux pour en donner une histoire complète ; mais les discussions qui ont eu lieu dans le sein de la Société géologique au sujet des terrains nummulitiques m'ayant conduit à exposer quelques uns des résultats auxquels je suis arrivé, et ces résultats ayant paru offrir quelque intérêt, je me suis décidé à en donner un extrait sous forme de notice, en renvoyant pour les détails au travail d'ensemble que je publierai plus tard.

(2) M. Grateloup a fait une étude toute spéciale des environs de Dax. Je suis redevable à ce naturaliste de plusieurs renseignements qui m'ont été d'une grande utilité dans mon voyage d'exploration.

Ces deux cours d'eau suivent une direction S.-E., N.-O. — La Chalosse, au contraire, est remarquable par les accidents que présente le sol. L'Adour coule au pied d'une série de côtes élevés, qui contrastent avec l'uniformité de la plaine des Landes, et qui semblent former le dernier gradin des Pyrénées. Ces côtes deviennent de plus en plus élevés à mesure qu'on se rapproche de cette chaîne, et ils sont alignés en plusieurs bandes sensiblement parallèles séparées par les vallées du Gave de Pau, du Gave d'Oléron, de la Bidouze et de la Nive. — La première de ces bandes est la Chalosse proprement dite. Elle est elle-même subdivisée en quatre bandes plus petites, qui suivent la même direction S.-S.-E. à O.-N.-O. que l'Adour et le Gave de Pau, et qui sont limitées par trois cours d'eau secondaires : le Gabas, le Louts et le Luy. — Les terrains qui constituent le sol du bassin de l'Adour se rapportent tous à huit chefs principaux :

Craie,
Dolomies,
Terrains nummulitiques,
Grès et lignites,

Faluns bleus,
Faluns jaunes,
Sable des landes,
Ophite.

L'ensemble de ces terrains se relève sensiblement vers la chaîne des Pyrénées. Leur superposition transgressive se fait d'une manière extrêmement irrégulière ; cependant, dans la Chalosse, ils paraissent se recouvrir successivement du S.-E. au N.-O. — Les terrains de la Chalosse ont été extrêmement tourmentés par l'apparition des roches ignées. Des cônes d'ophite ont disloqué de toutes parts les formations de tous les âges, et s'ils ne se sont pas fait jour constamment, on peut néanmoins reconnaître facilement leur voisinage par des traces évidentes de dislocations et par des changements très grands dans la composition des roches qu'ils ont redressées. — Les buttes formées par les ophites ont une forme tellement caractérisée, qu'elles ont reçu dans le pays un nom particulier (1).

1° *Craie*. — La craie forme le sol sur lequel se sont accumulés tous les terrains du bassin de l'Adour. Elle a été recouverte presque partout, dans la Chalosse, par les terrains nummulitiques et par les terrains tertiaires. Elle s'y montre pourtant sur plusieurs points, soit qu'elle ait été portée au jour par les ophites, soit qu'elle ait subsisté sous forme d'îlots au milieu des mers qui ont

(1) Pouy.

déposé les terrains plus modernes. Sur la rive gauche du Gave de Pau, entre Sallies et Bidach, elle forme des couches puissantes et qui se suivent d'une manière continue. Nous n'avons à nous occuper ici que de celle qui est à découvert dans la Chalosse. — Cette craie est généralement d'un gris bleuâtre, toujours un peu argileuse, de dureté moyenne, à cassure compacte. Elle renferme des lits de silex pyromaqueux noirs, analogues à ceux de la craie blanche du nord de la France (Tercis, Rivière, Angoumé); quelquefois elle se présente sous forme d'un calcaire en plaquettes, d'un gris jaunâtre (Rivière). Enfin, à Pouillon (carrières d'Arriosse, de Bastères), elle est blanche, un peu tranchante, et contient beaucoup de silex. — Les plus remarquables de toutes les localités de craie dans la Chalosse et le Marensin, sont celles de Tercis (rive gauche de l'Adour), de Rivière et d'Angoumé (rive droite). Elle y forme des couches redressées sous des angles très considérables; Ainsi, dans la grande carrière de Tercis, elles plongent vers le N.-E. avec une inclinaison de 45°. Du reste, dans ces localités, les strates ne présentent pas d'inclinaison ni de direction bien fixes; elles plongent vers divers points de l'horizon autour d'un massif central. — Ces couches crétacées sont très riches en fossiles dont les plus abondants sont les *Inocérames* et les *Ananchytes*, qui atteignent dans quelques localités des dimensions énormes. Les espèces suivantes sont les plus répandues (1):

Tragos pisiformis,
Asterias stratisfera,
Ananchytes ovata,
 — *striata*,
 — *striata*, var. *altissima*,
 — *gibbus*,
Inoceramus regularis,
Inoceramus Lamarckii,

Lima Mantelli,
Pecten nitidus,
 — *papyraceus*,
Ostrea vesicularis,
Nautilus ind.,
Ammonites, 3 esp. ind., dont une
 très grande,
Scaphites compressus.

La présence de plusieurs fossiles abondamment répandus à Tercis, Rivière, etc. (*Ostrea vesicularis*, *Ananchytes ovata*, etc.), me porte à croire que cette craie représente dans le Midi la craie blanche du nord de la France. — La craie de la Chalosse se prolonge au-dessous de toute la plaine des Landes. A Villagrain, dans le département de la Gironde, une aspérité de cette craie a résisté à l'action des agents qui ont dénudé tout le pays situé sur la rive

(1) Les mollusques de cette liste ont été déterminés par M. d'Orbigny, et les échinodermes, ainsi que ceux des terrains nummulitiques, par M. Desor.

gauche de la Garonne ; elle contient , comme celle de Tercis , des *Ananchytes ovata*, *Asterias stratisfera*, *Tragos pisiformis*, *Inoceramus regularis*, etc. — Enfin la craie de la Chalosse et de Villagraine paraît analogue à la craie grise à silex de la Saintonge et du Périgord.

2° *Dolomies*. — On a décrit, aux environs de Dax, deux ou trois petits lambeaux de dolomies que l'on a toujours considérés comme une modification métamorphique de la craie. Ces roches jouent pourtant un rôle important dans les terrains de la Chalosse, quoiqu'elles s'y montrent plutôt sous forme de massifs qu'en couches suivies (Tercis, Rivière, Dax, Benesse, Montaut, Arcet, Audignon, Boulin). — Elles sont ordinairement compactes, saccharoïdes, colorées en rouge plus ou moins foncé, ce qui les a fait confondre quelquefois avec des terrains infiniment plus anciens (Zechstein). Leur structure est largement fragmentaire et n'offre aucune trace de stratification. Elles constituent des massifs assez considérables autour desquels les couches plus modernes se relèvent sous des angles plus ou moins aigus. Partout elles sont disloquées, violemment tourmentées, et présentent toujours des traces non équivoques de l'action des agents souterrains. — L'âge de ces dolomies est une des questions les plus difficiles à résoudre dans la description du bassin de l'Adour. Je ne crois pas qu'elles puissent toutes être considérées comme de la craie métamorphisée par les ophites, car elles ne contiennent aucun des fossiles ni des silex si abondamment répandus dans cette dernière. A Montaut et à Audignon, elles supportent les terrains nummulitiques auxquels elles semblent plus généralement se rattacher, et, quoiqu'elles aient été partout tourmentées par l'effort des roches éruptives, je ne pense pas que leur origine implique de toute nécessité le contact de ces dernières avec les roches calcaires. Au reste, la discussion d'une question semblable m'entraînerait trop loin hors des limites de cet opuscule ; j'en renvoie l'examen au travail d'ensemble que je me propose de publier. Je me bornerai, pour le moment, à les placer avant les terrains nummulitiques, dont elles forment peut-être l'assise inférieure.

3° *Terrains nummulitiques*. — Les terrains nummulitiques sont, à beaucoup près, ceux qui entrent en plus grande proportion dans la composition des terrains de la Chalosse. Leurs limites superficielles sont assez irrégulières. Cependant ce n'est guère qu'à l'O. d'une ligne un peu sinueuse tirée de Montfort à Orthès qu'ils acquièrent une grande puissance. Les terrains tertiaires les recouvrent presque partout dans le triangle formé par cette ligne, l'Adour et le

Gave de Pau. Il faut en excepter toutefois la vallée de cette dernière rivière où ils affleurent sur plusieurs points. — Ces terrains présentent dans la Chalosse au moins trois divisions bien tranchées et parfaitement distinctes entre elles par leurs caractères paléontologiques, géologiques et minéralogiques. Je désignerai ces trois étages par les noms suivants : *marnes à Térébratules*, *calcaires à Echinodermes*, *calcaires à Nummulites*.

Marnes à Térébratules. — Ce sont des argiles calcarifères, ordinairement bleues ou verdâtres (Cassen, Nerbis, Coudures), quelquefois jaunes (Hontet), assez riches en fossiles, dont les plus caractéristiques sont le *Cancer quadrilobatus*, *Terebratula tenuistriata*, *Orbitolites*, etc. — A Montaut (carrière de Périgagne), elles se présentent avec des caractères minéralogiques différents. Ce sont des calcaires tendres, sableux, contenant une énorme quantité de rognons géodiques de quartz blanc, mamelonnés à l'extérieur et présentant à l'intérieur de magnifiques cristallisations de quartz hyalin. Ces calcaires sont très riches en *Orbitolites*, etc., et renferment quelques nodules de fer hydroxydé. Ils se retrouvent sur les pentes méridionales du Pouy-de-Monsouer, près Boulín. — Quant à leurs caractères de superposition, les marnes à Térébratules recouvrent les dolomies à Montaut. Peut-être aussi les argiles qui recouvrent la craie à Lespéron (près de Tercis) appartiennent-elles au même dépôt. — Voici une liste des fossiles que l'on peut recueillir le plus communément dans cet étage (1) :

Orbitolites media,
— *submedia*;
Serpula quadricarinata,
Teredo Tournali,
Pinna ind.,
Ostrea hippopodium,

Ostrea vesicularis,
— *gigantea*, var. *a* (de Crimée),
Fulsella falcata,
Terebratula tenuistriata,
— 2 espèces ind.
Cancer quadrilobatus.

On devra probablement rattacher à cette formation les marnes rouges gypsifères modifiées par les Ophites qui se trouvent au Pouy d'Arzet, à Gaujac, au Pouy de Monsouer, et les argiles violacées à Aragonites de Bastennes.

Calcaires à Echinodermes. — Cet étage a jusqu'ici été confondu avec la craie, ainsi que le précédent. Il consiste en calcaires ordi-

(1) Tous les fossiles de mes listes des terrains nummulitiques ont été déterminés par M. d'Archiac, qui s'occupe en ce moment de la description des restes organisés que renferment ces terrains dans le bassin de l'Adour.

nairement très blanches, à grains fins, quelquefois colorés en bleu. C'est la moins puissante des assises du terrain nummulitique, et elle n'affleure que dans un petit nombre de localités (Montfort, Nousse, Lahosse, Baigtz, Brassempouy). Les Nummulites commencent à s'y montrer, quoique en très petit nombre, mais les restes organiques les plus importants qu'elle renferme se rapportent tous à la classe des Echinodermes qui présente ici de magnifiques espèces dont plusieurs sont très caractéristiques (*Schizaster rimosus*, etc.) (1). — Les fossiles suivants se rencontrent fréquemment dans cet étage :

Schizaster rimosus,
Hemiasster complanatus,
Brissopsis elegans,
Macropneustes pulvinatus,

Nummulina millicaput?
Serpula spirulæa,
Natica sigaretina.

Les calcaires à Echinodermes reposent sur les marnes à Térébratules à Brassempouy. — Aux environs de Montfort, à Baigtz, etc., ils sont probablement recouverts par les calcaires à Nummulites, quoique je n'aie pu nulle part constater de superposition immédiate.

Calcaires à Nummulites. — C'est dans cet étage que les Nummulites acquièrent tout leur développement. Elles y sont quelquefois répandues en si grande quantité qu'elles constituent presque à elles seules la masse de la roche. — Cette troisième assise présente elle-même plusieurs subdivisions : — 1° Ce sont d'abord des calcaires blanchâtres ou bleuâtres à *Nummulina granulosa*, *N. mamillata*, *Serpula spirulæa*, etc., assez développés à Gibret, Donzacq, Audignon, etc. — 2° Viennent ensuite des couches puissantes de calcaires marneux gris ou bleuâtres, pétris de *N. crassa*, etc. On y trouve aussi l'*Ostrea gigantea*, la *Serpula spirulæa*, etc. (Baigtz, Nousse, Montfort, Gamarde, Brassempouy, etc.). — 3° Au-dessus de cette assise apparaissent des calcaires siliceux renfermant un nombre prodigieux d'*Operculina ammonæa*, Leym. et de *N. Biaritziana* (Gamarde). — 4° Enfin je place encore dans cet étage le lambeau de calcaire sableux à *Ostrea cyathula* qui repose sur des couches à *N. intermedia* au Tuc-du-

(1) Les grandes et belles espèces d'Echinodermes que M. Grateloup indique comme provenant d'une assise qu'il nomme *craie blanche*, appartiennent toutes à cet étage. Tels sont le *Clypeaster altus*, le *Galerites conoideus*, *G. albo-galerus*, *G. excentricus*, etc., etc. (Voyez *Mém. de géo-zoologie*.)

Saumon (commune de Louer). — L'étage supérieur des terrains nummulitiques se distingue bien, comme on le voit, des deux autres. Il repose, à Gibret, sur des calcaires qui paraissent se rapporter aux assises à Echinodermes, de même qu'à Audignon il recouvre les dolomies. C'est lui qui constitue la presque totalité des terrains des environs de Bayonne, des Corbières et de la montagne Noire (1). — Les fossiles qu'on y trouve le plus abondamment sont :

<i>Nummulina granulosa</i> ,	<i>Operculina ammonica</i> ,
— <i>mamillata</i> ,	<i>Pecten opercularis</i> ?
— <i>crassa</i> ,	<i>Ostrea cyathula</i> ,
— <i>intermedia</i> ,	— <i>vesicularis</i> ,
— <i>Biaritziana</i> ,	— <i>gigantea</i> ,
— <i>caput-serpentis</i> ,	<i>Serpula spirulæa</i> .
<i>Pygorhynchus Deibosii</i> . Desor,	

L'*Ostrea Cyathula* et l'*Operculina ammonica* caractérisent les couches supérieures.

4^e Grès et Lignites. — Je place provisoirement entre les terrains nummulitiques et les Faluns bleus des amas d'un âge très problématique qui ne forment que des amas limités, sans jamais constituer de couches étendues et suivies. Ces dépôts consistent en grès et en lignites.

Grès. — Ce sont des roches quartzeuses à assez gros grains, très solides, exploitées pour le pavage dans un grand nombre de localités (Louer, Hauriet, Cardures, Horsarrieu, Gamarde, etc.). A Cassen et à Mugron, ils contiennent assez de calcaire pour être utilisés comme pierre de taille. — Jusqu'à présent on n'a trouvé dans ces grès que quelques rares empreintes de plantes d'eau douce indéterminables (2). Ils paraissent s'être déposés dans des dépressions peu profondes et peu étendues des terrains plus anciens (3). Leurs relations avec les autres formations ne sont bien visibles nulle part.

Lignites. — Dans la commune de Saint-Lon, on exploite un dépôt de Lignite qui a pris, sous l'influence des Ophites, tous les caractères minéralogiques de la houille et même quelques uns des caractères géologiques d'un petit bassin houiller. — Les travaux d'exploitation ont été poussés jusqu'à 40 mètres de profon-

(1) Voyez le Mémoire de M. Leymerie.

(2) *Scirpus*, *Schænus*, d'après M. Grateloup.

(3) M. Grateloup a déjà fait cette remarque sans donner aucune opinion sur leur âge.

deux sans qu'on ait pu atteindre le fond du dépôt houillier. On a trouvé quatre couches, dont l'une à une épaisseur de 3 mètres. Les couches supérieures, très pyriteuses, sont disloquées par une multitude de failles comme les véritables couches houillères. Les assises inférieures fournissent, au contraire, une bonne houille sèche qui ne contient que peu de pyrites et dans laquelle on trouve de nombreux nodules de succin (1). — Ces différentes couches sont séparées par des assises d'un grès à grains fins et de marnes noirâtres plus ou moins imprégnées de sulfure de fer et pétries de tiges carbonisées de plantes. Un échantillon de cette marne retiré du fond de la mine m'a offert des empreintes de *Mytilus acutirostris*, d'un *Mytilus* voisin du *M. semiradiatus*, d'Orb., d'*Anomia lævigata*, de *Cardium obliquum*, et enfin d'une coquille qui offre la plus grande ressemblance avec le *Cardium Hillanum* du grès vert (2). — Pendant le dépôt des grès et des lignites, la Chalosse devait être occupée par la vaste embouchure d'un cours d'eau puissant. Cette période, pendant laquelle des lacs, des marécages et des fleuves avaient remplacé la mer qui déposait les terrains nummulitiques, me paraît correspondre parfaitement à l'époque des molasses, des calcaires d'eau douce et des meulières du bassin de la Gironde. Ces formations d'eau douce furent recouvertes, dans le S.-O., par des assises marines qui se déposèrent contemporanément dans le bassin de la Gironde et dans celui de l'Adour.

5° *Faluns bleus*. — Je range sous ce titre une série de dépôts qui ont été considérés comme très différents les uns des autres, de même que j'élimine quelques assises que je rapporterai à des terrains plus modernes. — Les Faluns bleus se divisent en trois assises :

Calcaires coquilliers. — Des calcaires grisâtres, très riches en fossiles, dont il ne reste plus que les moules, sont exploités dans la commune de Gaas (carrière de Garans), où ils reposent sur une marne d'un bleu foncé, renfermant quelques débris de tests calcinés de coquilles. Ces calcaires m'ont offert les fossiles suivants (3) :

Asterias lævis,
Fibularia ovata,
Nummulites,
Miliolites,

Trochus Benettiae,
Turbo Parkinsoni,
Delphinula scobina,
Pecten Billaudelli.

(1) Je dois quelques uns de ces détails à M. Paul Barrère, directeur de la mine de Saint-Lon.

(2) Ces fossiles ont été déterminés par M. d'Archiac.

(3) Voyez la liste donnée par M. Grateloup dans le Mémoire de M. Dufrénoy (*Mém. géol.*).

C'est-à-dire tous les fossiles caractéristiques du calcaire à *Asteries* du bassin de la Gironde. — Je rapporte à la même formation les couches de calcaire grossier qui forment l'éminence nommée Tuc-du-Saumon, dans la commune de Louer. On n'y trouve que très peu de fossiles, mais on y remarque des masses énormes de madrépores parfaitement conservés et identiques à une espèce commune aux environs de Bordeaux. — Enfin, à Lesperon, à Lourquen, à la Hosse, il y a des calcaires bleuâtres, sub-spathiques, qui appartiennent probablement à la même assise. A Bastennes, des couches à fossiles analogues (*Crassatella tumida*) sont imprégnées de bitume.

Marnes à Natica maxima. — Elles n'affleurent que dans un petit nombre de localités (Gaas, Cazordite). Ce sont des argiles bleuâtres, ordinairement très fines, qui se distinguent parfaitement des vrais faluns par les fossiles qu'elles contiennent :

Natica maxima,
Ampullaria crassatina,
Trochus Boscianus,

Trochus labarum,
Turbo Parkinsoni,
Delphinula scobina.

Faluns bleus à Echinides. — Ce sont des marnes sableuses, d'un bleu foncé, mêlées de gros gravier, qui forment le sol d'une partie de la Chalosse (Ozourt, Narrosse, Sort, Garrey, Cambran, Poyartin, Clermont, etc.). Elles sont remarquables par la grande quantité d'Echinodermes et d'ossements de cétacés qu'elles renferment :

Lunulites,
Clypeaster marginatus,
Echinolampas conoidea,
 — *Richardi*,
 — *oviformis*,
 — *ovalis*,

Panopæa Faujasii,
Cytherea Islandicoides,
Nautilus aturi,
 Côtes, vertèbres de très grands
 cétacés; dents de poissons, etc.

Les calcaires et les marnes à *Natica maxima*, *Turbo Parkinsoni*, *Delphinula scobina*, etc., me paraissent correspondre parfaitement au calcaire à *Asteries* du département de la Gironde. On peut s'en assurer en comparant les listes de fossiles de ces assises avec celles du dépôt de Terre-Nègre (1) et du calcaire à *Asteries* des environs de Bordeaux (2). — Quant aux marnes à *Echinides*, elles ren-

(1) Voyez *Mémoires géologiques*; Dufrenoy

(2) Voyez mon Mémoire sur l'âge de la formation d'eau douce inférieure du bassin de la Gironde.

ferment beaucoup d'espèces du calcaire à Astéries, ce qui fait que je les range dans la même formation que les couches précédentes, quoiqu'elles contiennent quelques fossiles que l'on n'a rencontrés jusqu'à présent que dans les couches les plus inférieures des faluns du bassin de la Gironde (*Clypeaster marginatus*, *Echinolampas Richardi*). — S'il vient à être prouvé par les recherches ultérieures des paléontologistes que le calcaire à Astéries appartient à l'étage moyen, ce qui paraît présenter quelque probabilité, les marnes à Echinides du bassin de l'Adour devront être sans doute assimilées aux molasses qui forment la partie inférieure des faluns dans le département de la Gironde.

6° *Faluns jaunes*. — Les couches qui doivent réellement porter le nom de Faluns dans le bassin de l'Adour forment trois groupes distincts.

Calcaires à Cardita Jouanneti de Mont-de-Marsan. — Cette assise fournit les seules pierres de construction que possède le Marensin. Elle commence par des calcaires gris bleuâtre, durs, à moules de *Cardium hians* et de *Fusus clavatus*, exploités comme pierre dure à quelque distance de Mont-de-Marsan. — Aux environs de cette ville et de Roquefort, de nombreuses carrières à ciel ouvert sont pratiquées dans des calcaires sableux, tendres, terreux, très caverneux, contenant un grand nombre de fossiles passés pour la plupart à l'état de moules spathisés. — Le prolongement de ces calcaires couronne le coteau élevé de Saint-Sever, et des sables imprégnés de bitume, à Gaujac, renferment tous les fossiles qui les caractérisent (*Cardita Jouanneti*, etc.). Ils présentent abondamment les espèces suivantes :

Cardita Jouanneti,
Cytherea Islandicoides,
Pectunculus glycimerys,

Pecten Beudanti,
Ostrea Virginica.

Cette assise correspond aux faluns de Salles dans le département de la Gironde.

Faluns jaunes de Saint-Paul. — C'est ici que commencent les vrais faluns. Je leur rapporte le dépôt de Saubrigues que l'on a toujours rattaché aux faluns bleus, parce qu'il renferme quelques fossiles qui ne se trouvent pas dans les dépôts coquilliers de la commune de Saint-Paul, disséminés dans un sable bleuâtre. — C'est dans la commune de Saint-Paul que les faluns jaunes acquièrent tout leur développement. Ils y présentent la plupart des fos-

siles caractéristiques des faluns de Léognan et de Sancats, aux environs de Bordeaux.

Sables à Potamides et à Coquilles d'embouchure. — A Saint-Avit, au N. de Mont-de-Marsan, M. Perris a le premier observé un gisement de faluns très riches en fossiles, dont j'ai trouvé le prolongement aux environs de Saint-Sever (Meignos) (1). Le falun de Mandillot, dans la commune de Saint-Paul, paraît appartenir au même groupe. — Tous les fossiles de ces faluns se rapportent à des espèces que l'on ne trouve dans le département de la Gironde que dans certains gisements particuliers (Mérignac, etc.).

Lucina scopulorum,
Cytherea undata,
Chama florida,
Mytilus antiquorum,

Melanopsis Dufourii,
Neritina picta,
Cerithium plicatum,
Pyrula Lainei, etc., etc.

7° *Sable des Landes.* — J'ai peu de chose à dire sur ce dépôt, si ce n'est qu'il recouvre tout le Marensin et couronne tous les coteaux de la Chalosse. Il renferme, dans la Chalosse, des lits de cailloux roulés qui paraissent augmenter en volume et en abondance à mesure qu'on se rapproche de la chaîne des Pyrénées.

8° *Ophites.* — Les Ophites ont disloqué de tous côtés les terrains du bassin de l'Adour. Elles constituent dans la Chalosse une foule de buttes coniques élevées, à pentes plus ou moins roides (Pouy d'Euse, Pouy de Saint-Pandelon, Pouy d'Arzet, Pouy de Montperoux, Bastennes, Gaujac, etc.). Elles sont ordinairement profondément altérées à leur surface et se désagrègent souvent en boules plus ou moins volumineuses, composées quelquefois d'écaillés concentriques (Pouy d'Euse, Saint-Pandelon, etc.). — Elles sont dans plusieurs localités accompagnées de petites masses de talcschiste à grain fin et d'une roche feldspathique boursouflée et poreuse comme une ponce volcanique. — Les substances minérales qui se trouvent le plus fréquemment associées à l'ophite sont le quartz, l'épidote, le talc, le fer oligiste, le fer hydroxydé et l'amiante. — Tels sont les caractères généraux des ophites considérées en elles-mêmes. C'est à leur apparition que doit se rapporter l'origine de quelques nouvelles substances qui n'existaient point dans le S.-O. de la France avant l'époque où elles se sont fait jour (soufre, arragonites, etc.), et celle des sources thermales, salées

(1) Je dois la connaissance de ce dépôt à M. Léon Dufour, qui a bien voulu me diriger lui-même aux environs de Saint-Sever.

et sulfureuses. — Le soufre cristallisé s'est présenté dans la commune de Saint-Boés associé à une marne calcaire bitumineuse. Dans la même localité, le pétrole et le bitume imprègnent toutes les roches calcaires. — Les Arragonites se trouvent disséminées en grand nombre, à Bastennes, dans des argiles rouges ou lie de vin. Des cristaux de quartz hyacinthe adhèrent fréquemment à leur surface. — Des marnes violacées, analogues à celles de Bastennes, se présentent partout où les argiles se trouvent en contact avec les Ophites. Ces marnes renferment ordinairement des lits minces de chaux sulfatée. — Enfin le kaolin a été rencontré en Chalosse à Gaujac et au Pouy de Monsouer. Il est recouvert, dans la première de ces localités, par les argiles rouges dont je viens de parler. — Les sources salées ne se rencontrent guère que dans le voisinage immédiat des Ophites. Dans la Chalosse, celle du Hourn, située au pied du Pouy d'Arzet, est peu abondante. Celle de Gaujac, au contraire, est assez considérable, et contient une assez forte proportion de sel pour que l'exploitation pût en offrir quelque intérêt. Mais c'est surtout sur la rive gauche du Gave de Pau, à Sallies et à Oraàs, que ces sources se présentent avec un grand développement. — La fontaine d'eau thermale, qui est située au centre même de la ville de Dax, n'est chargée d'aucune matière étrangère, ou du moins n'en contient que des traces inappréciables. C'est une des sources les plus chaudes que l'on connaisse; sa température est voisine de l'ébullition. — Les sources sulfureuses sont très abondantes dans la Chalosse (Tercis, Dax, Gamarde, Préchacq, Donzac). — Comme toutes les roches ignées, les Ophites ont agi sur les roches qu'elles ont traversées de deux manières différentes: 1° comme force mécanique, elles ont redressé, disloqué les couches d'une foule de manières; 2° comme force métamorphique, leur voisinage a fait subir aux roches des modifications variées qui se sont manifestées tantôt par un changement de structure et d'aspect (modifications physiques), tantôt par un changement de composition intime (modifications chimiques). — 1° *Effets mécaniques.* — La date de l'éruption des Ophites se rapporte à une époque assez moderne. Elles ont redressé les couches de craie à Tercis, Rivière, Angoumé, etc., sous des angles qui atteignent quelquefois 90°. — Les terrains nummulitiques offrent un plongement assez considérable à Baigtz et à Audignon. Enfin les faluns bleus se présentent en couches inclinées de 10° à 15° à Lesperon. — Les formations supérieures à ces différents dépôts ne présentent pas de traces bien authentiques de relèvement; mais cependant il n'est guère douteux que l'apparition d'une partie au

moins des Ophites ne leur soit postérieure , comme nous le verrons en parlant des bitumes. — 2° *Effets chimiques*. — Le soulèvement des Ophites a été suivi d'un dégagement de plusieurs substances qui ont attaqué les roches voisines en agissant sur elles comme agents chimiques. C'est ainsi que les roches calcaires ont été changées en sulfate de chaux dans une foule de localités (Arriosse, Caupenne, Bastennes, Gaujac, etc.). Les dolomies, comme je l'ai dit, me paraissent devoir constituer une formation indépendante des autres terrains, mais à laquelle l'action plutonique n'est peut-être pas étrangère. — 3° *Effets physiques*. — Je range sous ce titre les métamorphoses que les Ophites ont fait subir aux diverses roches par leur chaleur combinée souvent à une pression considérable. Telle est la transformation du calcaire en marbre (terrain nummulitique de Bastennes), etc... — Mais il est deux questions qui réclament une attention toute particulière : 1° celle de la transformation du lignite en houille, et 2° celle de l'origine des bitumes. — Comme je l'ai déjà dit, la commune de Saint-Lon renferme un gîte considérable de lignite qui présente des phénomènes de dislocation singuliers qui lui donnent quelque ressemblance avec un vrai dépôt houiller. Ce petit bassin a été soumis à des actions mécaniques énergiques qui l'ont fendillé et relevé dans toute son étendue. L'effort des roches plutoniques a certainement joué un rôle dans sa constitution actuelle. — Les bitumes s'offrent avec un développement considérable à Bastennes et à Gaujac. Ils imprègnent des sables qui se rapportent à plusieurs formations différentes. Ainsi, à Bastennes, ils sont exploités dans les faluns bleus ; à Gaujac, dans les faluns jaunes, et, dans ces deux localités, dans le sable des landes. — La date de l'infiltration des bitumes est de beaucoup postérieure à l'époque du dépôt de ces divers terrains. Si l'on étudie avec soin les excavations et les galeries dans lesquelles on exploite les sables bitumineux, on ne tardera pas à reconnaître que les infiltrations se sont faites *de bas en haut*, qu'elles ont imprégné toutes les matières incohérentes, et qu'elles ont, au contraire, entouré les roches dures, les coquilles, etc., sans pénétrer dans leur intérieur. Les choses ne se passeraient pas autrement dans un laboratoire de chimie, si l'on soumettait à l'action du feu un vase contenant à sa partie inférieure des matières susceptibles de donner, par la distillation, des huiles ou des goudrons, et dont le reste serait rempli de sable froid. Les huiles les plus volatiles se rendraient à la partie supérieure, tandis que les produits les plus fixes resteraient dans les parties moins froides. Des faits analogues se présentent dans les mines de bitume. A Gaujac,

le bitume devient de plus en plus fluide à mesure qu'on approche des limites supérieures de son infiltration ; à Orthez , les roches ne contiennent que du pétrole vers leur partie supérieure , et , à mesure qu'on s'enfonce , le bitume devient de plus en plus solide , de moins en moins onctueux. Tout présente donc ici les caractères d'une volatilisation ou d'une distillation dont les produits se seraient condensés dans les couches meubles qu'ils auraient traversées. — Que l'on suppose maintenant une masse minérale en fusion se faisant jour près d'un dépôt de lignite. Si cette masse n'arrive pas jusqu'au lignite même , elle agira sur lui par une chaleur lente et progressive qui pourra le fondre , l'agglutiner et le transformer en houille , comme M. de Collegno l'a fait voir pour des gîtes semblables qui se trouvent en Toscane. Si , au contraire , la roche ignée vient à pénétrer dans l'intérieur des dépôts , le lignite se trouvera subitement soumis à l'action d'une chaleur extrêmement intense qui le décomposera en huiles empyreumatiques , goudrons , etc. , qui se volatiliseront et imprégneront les masses supérieures. — Cette théorie n'est point en désaccord avec les faits chimiques. On sait que le bois , la houille , etc. , se décomposent en une foule de substances voisines par leurs caractères du pétrole et des bitumes. La distillation sèche de la résine de pin , celle de la houille avec de l'eau , fournissent , d'après M. Cailliot et M. Reichenbach , des huiles qui présentent tous les caractères du pétrole. Les goudrons de houille , soumis à la distillation , laissent pour résidu un bitume solide dont les caractères se rapprochent de ceux de l'asphalte. Les bitumes de la Chalosse pourraient passer pour un mélange de pétrole et d'asphalte. — Si la théorie que je viens de proposer est vraie , la date de l'apparition des Ophites sera clairement déterminée , puisque les bitumes qui en auront été le résultat auront imprégné et traversé toutes les formations tertiaires , y compris le sable des Landes.

Conclusions. — Les diverses formations du bassin de l'Adour pourront se grouper de la manière suivante dans la série générale des terrains :

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| 1° Craie branche. | | Craie de Tercis. |
| 2° Terrains nummulitiques (1) | { | Dolomies? |
| | | Marnes à Térébratules. |
| | | Calcaires à Echinodermes. |
| | | Calcaires à Nummulites. |

(1) La question de l'âge des terrains nummulitiques n'étant pas

3° T. tertiaire inférieur?	{ Grès? Lignites?
4° T. tertiaire moyen.	{ Faluns bleus. Faluns jaunes.
5° T. tertiaire supérieur.	Sable des Landes.
6° Roches d'épanchement.	Ophites.

Je ne donne pas cet ordre de superposition comme irrévocablement fixé. De nombreuses observations sont encore indispensables avant que l'on puisse établir d'une manière certaine la constitution géologique du bassin de l'Adour. Ma notice n'est qu'un simple aperçu géognostique que je donne avec toutes les restrictions que m'impose l'étude encore superficielle que j'ai faite de ces terrains aussi peu connus que compliqués. La nouveauté du sujet me servira d'excuse si j'ai commis quelque erreur.

M. Virlet d'Aoust fait observer à M. Delbos que, sans rejeter tout-à-fait l'hypothèse de la formation de certains bitumes par la décomposition des matières organiques, il faut cependant bien se garder de trop généraliser les théories de MM. de Reichenbach, Turner et autres chimistes, qui attribuent exclusivement la formation des bitumes à la transformation et à la distillation lente des matières organiques; qu'il a démontré, en effet, depuis longtemps (1), par un simple calcul appliqué aux sources de pétrole de l'île de Zante, qui sont bien loin d'être les plus abondantes, que ces théories sont tout-à-fait inconciliables avec les faits, lorsqu'on vient à soumettre ceux-ci à un examen raisonné.

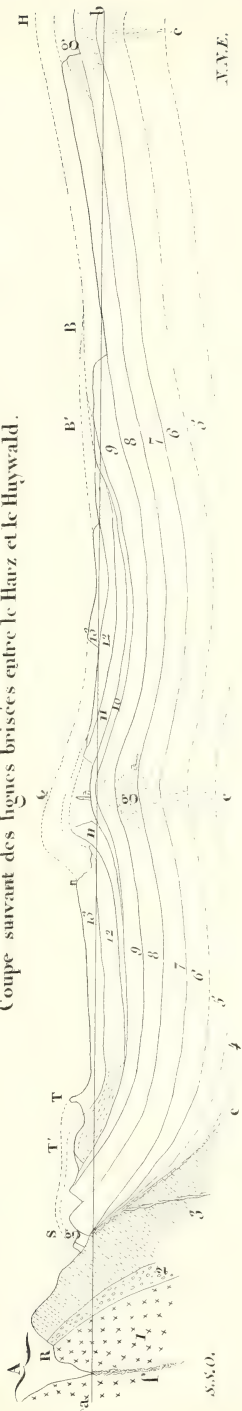
M. Frapolli présente à la Société la carte géologique d'une partie du nord de l'Allemagne, dont il est l'auteur, et lit la note suivante :

encore vidée, je les classe en un terrain indépendant, intermédiaire à la craie blanche et aux terrains tertiaires.

(1) *Bull. Soc. géol. de France*, 1^{re} série, t. IV, p. 203; 2^e série, t. I^{er}, p. 844; et *Dictionnaire pittoresque des sciences naturelles*, à l'article BITUMES.



Coupe suivant des lignes brisées entre le Harz et le Huywald.



- | | | |
|--|--|----------------------------------|
| A Harz. | 5 Rothliegendes..... | } T. Permien (meille plus loin). |
| R Rosstrappe. | 6 Zechstein | |
| T Tuffkornau..... | 7 Grès bigarré..... | } Trias |
| Q Quellbürg. | 8 Muschelkalk | |
| B Vallée de la Bode après le confluent de la Elbe..... | 9 Kauper (marnes irisées) | } T. Crétacé |
| H Haged et Huywald. | 10 Formations du Harz. | |
| S Steckelberg. | 11 Quadersandstein | } T. Crétacé |
| a.b. Niveau de la Bode. | 12 Planchalk | |
| 1 Gravelle | 13 Grès à lignites | } Gypse (visible). |
| 2 Grünstein | 14 Gypse (visible). | |
| 3 Schiste et Granulites primaires | c Chemins de fondillement (invisible). | } Faille de la Bode (visible). |
| 4 Terrain Houiller (visible plus loin). | f Faille de la Bode (visible). | |

Depuis A jusqu'à H, environ 8 lieues.

Quelques mots à propos d'une carte géologique des collines subhaercyniennes, et essai d'une topographie géologique de ce pays, par L. Frapolli.

§ I. Exposition du travail.

La carte que j'ai l'honneur de soumettre à la Société, comprend le pays de collines qui s'étend au N. du Harz, entre ces montagnes et les hauteurs du Hackelwald d'un côté, entre la Wipper et la Holzemme de l'autre.

Le tracé topographique est exécuté d'après les travaux géodésiques les plus récents; les nombreuses routes nouvelles y ont été introduites d'après des levées faites par moi-même; le relief orographique a été revu et rectifié, j'y ai fait les changements qu'une étude approfondie des rapports de la surface avec la structure intime du sol m'a démontrés nécessaires. L'échelle de $\frac{1}{50000}$ à laquelle j'ai exécuté le tracé de cette carte, m'a permis de n'y omettre aucun détail géologique de quelque importance. Cet espace, de plus de 40 lieues carrées, souvent rasé et recouvert, pour les trois quarts, par des dépôts meubles très épais, et qui, au premier abord, paraissent empêcher toutes les recherches géologiques, a été étudié pas à pas et de manière à ne pas laisser l'espace de 50 mètres carrés sans qu'il ait été vu et visité soigneusement. J'insiste sur ce fait et sur ce que ma carte n'a pas été coloriée d'après les méthodes ordinaires, en prenant des coupes et en raccordant les points par des lignes arbitraires, car ce n'est que sur un travail exécuté de cette manière que je pouvais m'appuyer, pour en déduire les conclusions dont j'avais besoin. J'y insiste d'autant plus, qu'ayant eu le malheur d'être obligé de détruire souvent les travaux faits par mes devanciers, je crois devoir expliquer la cause de cette différence, qui ne tient qu'à la proportion du temps et des soins qu'ils ont pu donner à la description de ce pays, et de ceux que j'y ai pu consacrer moi-même. Les projections horizontales des affleurements de terrains y sont déterminées de manière que les lignes qui les représentent sont vraies toutes sans exception, à 20 mètres près. Les nombreux massifs de gypse sont indiqués par des signes ou par des lettres qui les rapprochent des différentes formations desquelles ils font partie. Des lettres, distribuées par centaines sur toute la carte, indiquent les points où les différentes formations sont à jour, et qui correspondent à des observations spéciales que j'ai consignées dans mes notes. Une coupe

transversale, depuis le granit du Harz jusqu'au Hackelwald, et qui s'étend sur une longueur de 7 à 8 lieues dans la partie la plus accidentée du pays, a été levée par moi à l'aide de mesures trigonométriques; elle représente le relief du sol à l'échelle de $\frac{1}{12500}$, avec hauteurs simples; cette coupe a près de deux mètres de longueur. Une quantité de hauteurs y sont calculées à l'aide de formules trigonométriques, en prenant pour point de départ le niveau de la Bode, niveau dont la hauteur, au-dessus de la Baltique, est connue en plusieurs points par les travaux de Villefosse et de F. Hoffmann. Les angles donnés par le graphomètre, les pentes de la surface, les inclinaisons des couches, les divisions géologiques des terrains y sont indiquées. Un grand trapèze, d'une lieue de côté, choisi dans la partie du pays la plus appropriée, a été levé trigonométriquement avec le soin le plus scrupuleux; il devra servir au calcul de la quantité des masses enlevées par la dénudation. Une autre coupe longitudinale démontre l'affleurement successif des différentes formations dans le sens parallèle au Harz et s'étend en croix avec la première d'un bout à l'autre du pays étudié. Cette seconde coupe, d'une longueur démesurée et exécutée au $\frac{1}{25000}$, avec hauteurs doubles, a également été basée sur différents travaux trigonométriques. Une vingtaine de sections des autres parties du pays, exactement dessinées, soit à vue, soit, pour plus de précision, à l'aide de carreaux, présentent tous les principaux accidents de superposition. Les directions exactes des coupes se retrouvent dans le plan; j'ai dû souvent suivre des lignes brisées, afin d'éviter les endroits où la dénudation a effacé toute trace de relief orographique. Un grand panorama, pris de la plus haute des collines subhaercyniennes, levé à l'aide de carreaux, suivant la méthode de Leonardo da Vinci, et exécuté à la plume, représente, en perspective, le relief d'une grande partie du pays étudié. Ce panorama, ainsi qu'une douzaine de vues pittoresques et géologiques en même temps, car elles ne sont là que pour appuyer, par la vue de la nature, le récit de quelque fait, ou les conclusions de quelque théorie, sont destinées à orner le texte par des gravures sur acier; une cinquantaine de vignettes sur bois, représentant autant de petites coupes ou d'objets géologiques, finiront de rendre l'exposition des faits tout à fait évidente. J'ai voulu que le lecteur, à l'aide de tous ces moyens, du plan colorié et accompagné du relief orographique exact, des coupes levées géométriquement, des vues pittoresques, d'une collection de roches et de fossiles à l'appui, qui compte plus de 1,500 échantillons, et qui sera exposée dans quelque grande ville de

l'Allemagne (1), pût, par sa pensée, se transporter sur la nature elle-même, et qu'il pût y juger des faits, qu'il pût y observer par lui-même les superpositions, qu'il pût apprécier le relief orographique et mesurer les rapports nombreux qui existent entre ce relief et la structure intérieure du sol. Ce n'est qu'après avoir fait un travail poussé à ce degré de scrupuleuse exactitude et de détail, que j'ai hasardé quelques conclusions. La grauwacke a été partout la limite de mes études spéciales ; il importe donc bien de distinguer ce que je peux dire sur le pays subhaercynien, des excursions rapides que je fais dans l'intérieur du massif. L'un est le résultat d'un travail, l'autre une relation de voyage.

Qu'il me soit permis, en terminant l'énumération des travaux que j'ai exécutés, de rappeler à la reconnaissance de tous les amis de la science ce génie exceptionnel, placé à côté du trône, dont le savoir et la noble simplicité des manières évoquent à chaque instant le jeune voyageur qui apportait jadis, à l'Europe étonnée, la connaissance de tout un nouveau monde. Alexandre de Humboldt, que l'Allemagne s'est accoutumée à regarder, depuis un demi-siècle, comme le représentant de tous ses intérêts scientifiques, et dont l'appui est toujours assuré à quiconque désire s'occuper sérieusement, à quelque nation qu'il appartienne, a bien voulu encourager mes faibles recherches ; c'est lui qui m'a obtenu les plans à l'aide desquels j'ai pu exécuter le tracé de ma carte ; c'est à la protection magique de son nom vénéré et tout-puissant que je dois d'avoir été le bienvenu partout où je me suis présenté ; sans lui mon travail ne serait pas accompli ; en le proclamant ici, je ne fais que remplir un des devoirs les plus sacrés.

Grâces soient rendues aussi à mon savant ami le professeur Gustave Rose, qui a bien voulu visiter avec moi les lieux que j'avais étudiés, et me procurer l'assistance de son expérience consommée et du savoir profond de son illustre frère. Je manquerais également à la plus légitime reconnaissance, si je ne rappelais point les sentiments que m'ont inspirés, d'abord le professeur Schumann à Quedlinburg, physicien profond, homme probe et honoré dans tout le pays, qui, par son influence et par son amitié, n'a cessé de m'assister pendant quatorze mois de rudes travaux, et a su m'aplanir maintes difficultés et maints obstacles ; puis feu le docteur Schwalbe de la même ville, cet homme qui, étant jeune encore

(1) M. Ernst Yxem, horloger à Quedlinburg, homme fort instruit et zélé pour la science, se charge de l'envoi des petites collections de roches et fossiles du pays qui pourraient lui être demandées.

et riche , a employé sa fortune et sacrifié sa vie en soignant gratuitement tous les pauvres de sa province. Je croirais, enfin, commettre un crime d'ingratitude et de lèse-hospitalité , si j'oubliais de nommer M. Friedrich Ludolf Haussmann , de Rothleberode , qui m'a facilité l'étude de la Thuringe ; M. de Grode, le chef bienveillant du Harz hanovrien , et MM. Koch d'Andreasberg et Augustin d'Eisleben , ingénieurs du plus haut mérite , qui m'ont reçu avec l'hospitalité franche et cordiale dont j'ai joui au Mägdesprung comme à Goslar , et qui distinguent tous les mineurs de ces pays.

§ 2. *De quelques auteurs qui se sont déjà occupés de la géologie de la contrée.*

J'arrivais dans le pays , les cartes à la main ; après quelques jours il me fut facile de me convaincre qu'aucun travail spécial n'avait été fait sérieusement sur cette contrée ; les indications données dans les livres répondaient bien peu à ce que l'on voyait dans la nature. Il y a une trentaine d'années , M. Schulze avait élargi jusqu'à ce point une carte de Mannsfeld ; c'est même lui qui avait noté le premier les lignites du pays , mais l'époque seule de son travail indique assez ce qu'il a dû en être. M. Boué avait fait quelques bonnes observations dans le Harz , mais il ne s'y était pas arrêté. M. de Buch avait dit quelques mots pleins de sens sur la Rosstrappe ; il avait parlé des émersions plutoniques dans le Harz ; il ne s'était pas étendu au pays environnant. M. Zincken , à qui l'on doit un travail développé sur l'intérieur d'une partie du plateau haercynien , a fait une excellente monographie de cette même Rosstrappe , mais il s'y est renfermé. M. Germar , une des anciennes colonnes de la science minéralogique allemande , et auteur du bel ouvrage sur les empreintes houillères de Wettin , n'avait fait qu'effleurer ce pays. L'illustre savant de Göttingue , M. Haussmann , qui nous a légué d'aussi beaux travaux sur le Harz proprement dit , et qui nous a fait connaître les bords du Weser , n'en avait parlé que par incident. M. Keferstein , il y a quelque vingt ans et plus , s'est occupé spécialement de la géologie de ce district ; quelque utiles qu'aient été ses écrits pour les progrès de la science , ils se ressentent du manque absolu de principes géologiques de cette époque , où une école nombreuse ne savait encore déterminer qu'à l'aide des caractères minéralogiques. Le grand ouvrage de Freiesleben n'a pas dépassé le Mannsfeld ; celui de Villefosse , rempli de données précieuses , reste pourtant assez étranger à

la géologie. Friedrich Hoffmann est le seul qui, à la suite de sa belle description topographique du N.-O. de l'Allemagne, et en combattant M. Keferstein, établit quelques vérités frappantes sur la géognosie de ce pays; son ouvrage est excellent, et, tant qu'il ne s'agit que de la forme superficielle du pays, d'une exactitude que j'ai été toujours obligé d'admirer chaque fois que je m'en suis servi sur le terrain; mais l'auteur, qui avait toutes les qualités nécessaires pour exécuter un travail géologique accompli, a été brisé par la mort, au plus beau de son ouvrage. Il n'a pu terminer la partie géologique, elle est à peine ébauchée. On dirait qu'il a craint de toucher à l'arche sainte, il n'en parle point, il passe vite et se perd dans la plaine lointaine; il va se noyer dans les flots avec ces collines qu'il décrit rapidement. Sa carte géologique manque très souvent d'exactitude; mais cela est naturel, car c'est un travail immense et dont l'accomplissement exigeait la vie d'un homme tout entière, et elle n'y aurait pas suffi. M. Roemer, qui, par son essai de classement paléontologique des terrains de craie du N. de l'Allemagne (Hanovre 1841), a rendu un véritable service à la science, a déterminé l'âge des couches dans quelques points de notre contrée; ce n'était pas son but d'en faire la géologie spéciale. M. Dunker n'a parlé qu'en passant de quelques formations de ce pays; d'ailleurs les beaux ouvrages de ce savant sont des travaux presque uniquement paléontologiques. MM. Naumann et Cotta sont restés au-delà des frontières du royaume de Saxe, et ce dernier savant n'a étendu ses belles cartes que du côté de la Thuringe. Les personnes qui, après ces messieurs, y ont fait de la géologie, se sont limitées à des monographies plus ou moins restreintes; et quelques unes n'ont même eu garde de copier ou de dénaturer, en y ajoutant de faux faits ou de fausses applications, les idées de Hoffmann. Je dois pourtant nommer quelques hommes très instruits qui habitent le pays, et qui, s'ils cultivent d'autres sciences, ou si leurs occupations ne leur permettent pas de se dévouer à la géologie comme ils le voudraient, ne manquent point de s'intéresser, et avec un bon sens remarquable, à toutes ces questions. Devant me limiter au pays compris dans ma carte, je citerai en premier lieu M. Stiehler, à Wernigerode, qui a écrit un beau Mémoire sur l'origine de la houille; M. Giebel, de Quedlinburg; M. Heyse, auteur d'une description des fossiles du muschelkalk des environs d'Aschersleben; M. Rabert, à Rübeland; M. Hampe, le savant botaniste, à Blankenburg, et bien d'autres amis de la science qui pullulent dans cette belle Allemagne, pour qui la probité antique de ses fils, le dé-

veloppement de l'intelligence , la passion pour l'étude , et l'amour du travail , sont les meilleures garanties d'un avenir certain.

§ 3. *Composition du sol et gisement général des formations ; âge des roches massives.*

Les terrains primaires constituent le fond de tout le N. de l'Allemagne. Ils se montrent dans l'Eifel , ils se montrent dans le Harz , ils se montrent près de Magdeburg ; ils forment une seule et même grande formation à laquelle appartient le Cornouailles et la Bretagne. Plus on avance vers l'E. , moins ces formations sont tourmentées. En Bretagne , le terrain *cumbrien* a été reconnu sur des étendues considérables ; on trouve encore le terrain *silurien* dans les Ardennes ; d'après la détermination qu'on a faite des restes organiques , et par suite de plusieurs considérations géologiques , le plateau de Magdeburg et le Harz paraîtraient reconverts, du moins en grande partie, par les formations auxquelles on a jusqu'ici donné , peut-être avec trop de généralisation , le nom collectif de dévoniennes , mais la direction du terrain silurien domine dans ce dernier massif. Dans les plaines sans fin de la Russie , MM. Murchison , de Verneuil et de Keyserling , ont reconnu ces deux derniers terrains sur d'immenses étendues , et en couches à peu près horizontales.

Des roches granitiques forment en quelque sorte le noyau du plateau haercynien. Il ne faudrait pourtant pas s'imaginer que les grandes plaques rouges qu'on voit sur toutes les cartes du Harz soient tout à fait conformes à la vérité. L'influence que ces roches ont exercée sur les couches de sédiment environnantes , nous montre bien qu'elles n'ont pas été formées à la place qu'elles occupent actuellement. La direction moyenne , à peu d'exceptions près , N.-E. des schistes primaires , n'est pas souvent en rapport avec les masses irrégulières des granites , ou l'alignement général E.-S.-E. du massif haercynien. Ce fait que M. Germar a indiqué depuis longtemps (1) , et qui est notoire dans le pays , a donné

(1) *Geognostische Bemerkungen auf einer Reise über den Harz und das Thüringerwald — vom Herren Professor Germar in Halle, 1819.* Je trouve dans cette petite brochure , où M. Germar n'a fait que donner son journal de voyage , des observations d'une exactitude surprenante , et qui n'auraient pas dû échapper à ses successeurs. M. Germar fait remarquer que dans le *Bas-Harz* (c'est-à-dire là où de grandes éruptions postérieures ne sont pas venues bouleverser les formations) , les couches des schistes et des grauwackes courent E.-O. , et plus souvent

lieu à une théorie singulière, qui fait dériver les granites du Harz d'une fusion successive des couches de transition qui se serait propagée des parties inférieures jusqu'à la surface. L'étude des phénomènes de contact, si variés et soumis pourtant à des lois fort simples, démontre facilement combien l'application de cette hypothèse à ce pays est insoutenable. Une partie des couches de transition était déjà relevée depuis longtemps; les granites n'ont fait que les percer en redressant leurs tranches déchirées, ou en soulevant même certaines portions à la manière d'un emporte-pièce. Ce n'est que dans des localités très restreintes que les schistes et les grauwackes ont passé à l'état de micaschistes, de gneiss, de quarzites; mais presque partout, autour et à peu de distance des masses granitiques, on voit s'y développer quelques petites paillettes de mica, ou bien les grauwackes se sont transformées en hornstein, les schistes en phanites. Des masses de diabases, de porphyres, des nombreuses déjections d'amphibolites, quelques parties serpentineuses, le tout accompagné de roches métamorphiques de toute espèce, de quarzites, de soi-disant gabbro, d'amygdaloides, de variolites, etc., etc., se rencontrent abondamment au milieu de ces sédiments d'une époque reculée. Un grand nombre de filons remplis de minéraux variés, de fer carbonaté et oxidé rouge ou hydroxidé, de plomb, d'argent, de cuivre, d'antimoine, de zinc, de manganèse, d'arsenic, de cobalt, de chaux fluatée, de baryte, de strontiane, forment la richesse de ce pays (1); une foule de minéraux improductifs, appartenant surtout à la classe des zéolites et des silicates, les accompagnent.

Déterminer les relations d'âge des différentes roches massives qui ont percé les schistes et les grauwackes, par rapport au terrains se-

encore N.-E., S.-O.; cette observation, qui à elle seule nous indique une loi générale, est fortifiée et précisée encore davantage par la citation d'un fait qui m'est tombé également sous les yeux, savoir: que « près de la Blechhütte, où la surface du granite s'abaisse et plonge » vers le nord, cette roche n'a pu changer en rien la direction générale des schistes qui vient s'arrêter brusquement à son contact. » Je possède des échantillons de cette localité, qui montrent que les tranches des couches, déjà auparavant relevées, des schistes, vont frapper contre les granites qui les ont altérés et qui ont rehaussé postérieurement le tout dans un autre sens.

(1) C'est près de Neudorf, dans le Bas-Harz, qu'on a trouvé du sélénium, et, associé à celui-ci, des traces d'une substance que Berzélius a reconnu être du palladium.

condaires, est une tâche extrêmement difficile, et je dirais presque impossible, si on se limite à l'observation superficielle du simple massif du Harz. A l'exception des porphyres d'Ilfeld et de Halle, qui paraissent être arrivés après le dépôt du terrain houiller et s'être continués pendant la période permienne, ces roches ne sont ici jamais en contact avec les terrains secondaires. Dans l'état actuel de la science pétrographique, qui ne permet guère encore de classer les âges des roches plutoniennes par des caractères tirés de leur structure intime, et tant que la géologie du Harz n'aura pas été étudiée en détail, ce qui est loin d'être fait, c'est donc dans le pays environnant ou dans d'autres groupes de montagnes qu'il faut faire de pareilles recherches; l'analogie des roches pourra permettre ensuite quelques rapprochements. Tout ce que j'ajouterai à cet égard ici ou vers la fin de cette notice, et, je dois le dire, tout ce qu'on a pu répéter là-dessus jusqu'à présent; ne doit, ne peut avoir qu'une valeur approximative. Dans son dernier ouvrage sur le Harz, M. Haussmann a admis l'ancienneté relative de certaines roches qu'il appelle *diabases*, et qui sont connues communément sous le nom de *urgrünstein*, par rapport aux granites du pays; je suis porté à croire qu'il a raison; en tous cas il me paraît absolument certain que ces roches n'ont pu s'injecter dans les couches schisteuses que lorsque celles-ci étaient déjà redressées et rasées; les phénomènes de métamorphisme qu'elles présentent surtout du côté du toit, ne laissent point de doute à cet égard. J'ai, en cela, le regret de devoir être en contradiction avec l'opinion exprimée par quelques savants distingués. Hélas! on ne peut être de l'opinion de tout le monde. Je crois pourtant qu'on finirait par se mettre d'accord, si on voulait s'entendre bien sur ce que l'on appelle *grünstein* et *urgrünstein* d'émergence; car il y a plusieurs masses qui portent ce nom dans le Harz, et qui ne sont autre chose que des roches de sédiment métamorphosées; et M. Boué, si je ne me trompe, a dû le faire remarquer lorsqu'il a trouvé un débris fossile dans une de ces prétendues masses d'éruption dans les environs de Goslar. Moi-même j'ai examiné, en parcourant le Harz, certaines roches auxquelles quelques géologues ont prêté le nom de *gabbro*, de *porphyres*, de *grünstein*, et qui ne sont évidemment que des roches altérées (1). Quoi qu'il

(1) Je suis tout étonné de trouver que M. Germar avait également observé, en 1819, que certains *gabbro's* étaient stratifiés. Ce que dit M. d'Omalius d'Halloy n'est que trop vrai : « La mode exerce son empire sur les sciences comme sur bien d'autres choses. » D'abord,

en soit, il me paraît résulter de l'ensemble de la disposition des couches de ce plateau primaire qu'une partie des schistes était déjà relevée suivant une direction moyenne N.-E., et qu'ils étaient déjà rasés à la manière de ceux d'Angers ou de certaines steppes de la Russie, lorsque les premières roches massives sont venues s'intercaler à la suite de fentes qui se sont produites dans le sol ; et, tout vu, je crois encore probable que les granites qui forment le noyau et le relief principal du Harz aient paru à la surface avant la formation des premières couches secondaires, car il est à peu près certain que le Harz, au moins en partie, formait déjà une île lors du dépôt du terrain houiller et du rothliegendes. Mais ces mêmes granites, et, en général, tout le petit chaînon, ont dû être relevés encore plusieurs fois, et même très brusquement, pendant le cours des périodes secondaires et tertiaires ; les grands bouleversements qui ont eu lieu dans le pays après l'époque du terrain crétacé en sont une preuve. Les éruptions porphyriques et la direction définitive du chaînon et de ses prolongements se rattachent à ces différents mouvements postérieurs. En tous cas, il me paraît certain que ces montagnes formaient, en totalité, une île au milieu de la mer triasique. Depuis cette époque, le Harz a toujours été à sec ; les eaux qui ont encore pu modifier son relief n'ont été que passagères. En était-il de même des îlots qui lui sont analogues, du plateau de Magdeburg, du Thüringerwald, etc. ? Je le pense ; c'est même ce qui, pour ces contrées, établit, à mon avis, une différence plus marquée entre les terrains primaires et les terrains secondaires qu'entre les différentes parties de ces derniers : car les premiers étaient déjà en couches non seulement redressées, mais partagées en massifs à plusieurs niveaux différents, dénudées et rasées ; ils formaient des continents et des îles lorsque les terrains secondaires sont venus en recouvrir les parties submergées, tandis qu'entre les différents terrains secondaires et tertiaires il n'y a que l'écho des grands mouvements, dont le centre était plus loin, et des déplacements qui ont bien suffi à distinguer les époques

tout avait été formé par les eaux, tout était stratifié ; plus tard, il n'y a plus eu partout que des produits ignés, et de conclusion en conclusion on est arrivé à faire couler les gypses et les dolomies. Plusieurs, parmi les questions géologiques, et parmi les plus importantes, ont subi de pareilles phases et en subissent encore. On dirait que rien, dans le monde moral comme dans le monde physique, ne saurait se passer que par action et réaction. Il y a bien peu d'hommes qui sachent s'arrêter devant l'exagération d'un principe.

différentes, mais qui n'ont pas complètement changé la disposition des continents. Cela me rappelle involontairement le fait cité par M. Alcide d'Orbigny, qui a observé en Bolivie une ligne de démarcation tranchée entre le terrain silurien et le terrain carbonifère. Il y a là une espèce de grand hiatus, dont un pareil ne saurait plus être observé entre les différentes périodes postérieures que lorsqu'on arrive aux derniers terrains meubles.

Les terrains secondaires et tertiaires, en commençant par le terrain carbonifère, se sont déposés dans les mers méditerranéennes du nord de l'Europe, en s'appuyant sur les côtes des différents continents émergés, et reculant ou avançant leurs dépôts, qui varient de forme d'épaisseur et de nature, en raison des mouvements que subissait l'écorce terrestre à l'origine d'une nouvelle période ou pendant son cours, de la forme qu'acquéraient les golfes et les mers, de la disposition des rivières et des lacs. Entre les plateaux primaires du Harz et de Magdeburg, on retrouve presque toute la série des couches secondaires; la plus grande partie des sédiments postérieurs aux schistes dévonien qu'on a reconnus dans l'Europe occidentale s'y sont succédé et s'y sont recouverts tour à tour; les plus anciens emboîtent les formations récentes. Le terrain houiller, le rothliegendes, le zechstein, les trois membres du trias, différentes formations de la période jurassique, plusieurs étages crétacés, des bas-fonds tertiaires, des dépôts meubles d'époques variées, et, parmi tous ces terrains, des sédiments pélagiens tranquilles, mécaniques ou chimiques, des sédiments méditerranéens lacustres, d'embouchure, ou de marécages, des dépôts de transport sous-marin, diluvial ou fluvial ancien, des gypses, des dolomies, du sel gemme, s'y sont donné rendez-vous, et n'ont été masqués qu'en partie par les détritiques et les alluvions actuelles. La composition de plusieurs d'entre cette longue série de dépôts nous rappelle, à elle seule, qu'ils n'ont pas été produits, tant s'en faut, sans que des causes étrangères ne vinssent apporter du dérangement dans leur formation successive, sans que des mouvements lents ou précipités du sol lui-même ne vinssent en changer l'étendue, la forme, le niveau, la nature. La présence ou l'absence de plusieurs étages intermédiaires nous permet, même en nous renfermant dans la contrée limitée que comprend ma carte, de distinguer, d'après les simples lois de la stratigraphie, les principaux groupes de formations. Les débris fossiles des corps organisés enfouis dans ces couches viennent confirmer et préciser encore davantage les résultats obtenus, et nous faciliter le rapprochement de ces mêmes forma-

tions avec leurs analogues dans le côté opposé des bassins, en France, en Angleterre, en Scandinavie, sans nous obliger à suivre rigoureusement pas à pas les superpositions.

§ 4. *Relief orographique et structure.*

La nature des sédiments dont se compose le sol de la contrée sub-haercynienne, l'ensemble des mouvements qui l'ont bouleversée, les dénudations qui en ont dévasté la surface à plusieurs reprises, ont modifié diversement le relief orographique du pays. Ce relief, extrêmement pittoresque et varié par son aspect extérieur et sa végétation, est, au contraire, très simple par les lois générales qu'on y reconnaît et qui découlent du mode de son origine. Le Harz lui-même, ce plateau arrondi, mais raviné, et quelquefois profondément entaillé, d'une hauteur assez uniforme, se terminant au N.-N.-E. par une ligne de falaises boisées et à pentes rapides, et dont le niveau moyen général, de 500 à 800 mètres, n'est dépassé que légèrement par des espèces de ballons isolés et moins fertiles dont le plus haut n'arrive pas beaucoup au-delà de 1,200 mètres de hauteur, est le résultat de la présence des couches primaires de schistes et de grauwackes, de leur ridement primitif, de l'existence de nombreuses masses ignées qui les ont percées postérieurement, des fentes, des failles et des dénudations gigantesques qui en ont profondément modifié le relief, de la décomposition séculaire qui en a façonné différemment les formes extérieures. Le plateau de Magdeburg, à pentes plus douces, moins haut, mais également élevé au-dessus du pays environnant, correspond à un deuxième affleurement des couches schisteuses et à des épanchements de roches éruptives.

Entre les deux îlots primaires, les couches plus récentes ont subi un ridement général parallèle à la grande ligne de falaises qui termine au N.-E. le plateau haercynien et qui se dirige vers l'E.-S.-E. Ce ridement n'est pas l'effet d'une seule révolution; une étude attentive et détaillée nous montre qu'il est le résultat de plusieurs dislocations successives dont les unes ont pu être lentes, les autres brusques, et qui certainement ont eu des directions fort variées. Mais la disposition des golfes et des côtes était telle, que les mouvements successifs, dans quelque sens qu'ils fussent, n'ont pu que produire l'exagération et la répétition des dislocations antérieures. Les couches plus récentes ont été constamment entraînées, lors de leur redressement, dans la direction des ridements anciens. Il serait très difficile de déterminer lesquels de ces ride-

ments sont dus à l'action directe des soulèvements latéraux, ou bien à l'action indirecte du relèvement du fond des bassins; ils tiennent probablement tout à la fois à l'une et à l'autre de ces deux causes.

Le golfe subhaercynien, où se sont déposés les terrains secondaires, était fermé vers l'orient. La cessation des dépôts supérieurs et le peu d'épaisseur des formations triasiques lorsqu'on s'avance vers l'E.-S.-E., l'apparition du terrain permien non loin de Cöthen, en sont une preuve. Les rides des couches sont peu nombreuses et très peu importantes vers la limite orientale du bassin, où elles ne commencent que par une seule courbure presque insensible; mais cette courbure se modifie bientôt, et elle grandit et finit par donner lieu à des déramations qui, elles-mêmes, deviennent plus fortes et se subdivisent à mesure que l'on avance avec le soleil, c'est-à-dire à mesure que l'on s'approche du méridien géologique de Brocken. La simple inspection raisonnée de la carte de Hoffmann suffit pour nous convaincre de cette allure des couches secondaires qui, ne formant entre Konnern et Magdeburg que deux rides légères et trois fonds de bateau, présentent six rides et sept fonds de bateau entre Goslar et Klinze. Or, c'est précisément ici que le golfe s'élargit davantage et que les formations s'y trouvent plus puissantes et plus au complet. Si le ridement définitif n'était que l'effet d'une pression latérale, il devrait être plus fort là où les couches étaient plus élevées et plus horizontales; mais c'est le contraire qui a lieu. Je crois donc ne pouvoir me passer d'admettre que le dernier ridement, le ride-ment qui a mis à sec et qui a transformé en une plaine ondulée le fond concave et profond de ce golfe, a été autant occasionné par le simple relèvement vertical même du fond, que la pression directe d'un soulèvement latéral. Plusieurs autres considérations de détail me confirment d'ailleurs dans cette opinion. Dans tous les cas, la forme allongée du golfe, dont le grand axe se dirige vers l'E.-S.-E., ne laissait point d'autre alternative à la direction des rides de tous les terrains, depuis ceux qui s'y sont déposés le plus anciennement jusqu'aux plus modernes. Ce sera donc dans l'alignement des massifs antérieurs, dans la succession des roches éruptives lorsqu'on peut l'observer, et dans la direction et l'âge des grandes failles, autant que dans la composition des couches et dans la nature des restes organiques qu'elles renferment, que nous trouverons un appui pour leur classement. Un autre moyen très puissant de contrôle serait l'étude des directions, des inclinaisons et des époques d'ouvertures et de remplissages successifs des nom-

breux filons de l'intérieur du Harz. On pourrait peut-être parvenir de cette manière à rapprocher avec assez d'exactitude l'apparition des différentes substances minérales avec les diverses époques des dislocations; mais les phénomènes de ce genre, que je ne pourrais qu'indiquer sommairement dans un travail plus élaboré, ne sauraient être étudiés et éclaircis que par la plume de l'auteur du grand ouvrage sur le Bas-Harz, qui en dirige les mines et qui possède en même temps, au Mägdesprung, la plus belle collection de produits des filons de ce pays qu'il puisse être donné à un homme de désirer.

Trois grands systèmes de failles se font remarquer dans le bassin subhaercynien. L'un, courant à peu près de l'E.-S.-E., serait parallèle à la grande falaise septentrionale du Harz, qui probablement lui devrait son existence. Un autre, courant à peu près suivant la direction thuringienne, et dont on trouve un exemple dans le cours de la Wipper, depuis Freckleben jusqu'à Aschersleben, dans les marais de la Sée, etc.; on a fait remarquer depuis longtemps que certaines parties du cours de plusieurs grandes rivières de l'Allemagne septentrionale avaient été déterminées par une cause analogue. Un troisième grand système de failles court du S.-S.-O. au N.-N.-E.; ce système, qui n'a pas épargné les terrains crétacés les plus supérieurs de la contrée, est celui qui a laissé le plus de traces sur la surface du pays; le lit de la plupart des rivières qui descendent au N. du Harz en dépend; l'Elbe, depuis Magdeburg jusqu'à la hauteur de Genthin, suit cette même direction.

De nombreuses et grandes dénudations ont marqué, pour ce pays comme pour tous les autres, le passage de plusieurs époques d'agitation aux périodes successives de dépôt tranquille. Il en est résulté l'enlèvement des couches dans tous les endroits où elles étaient fracturées, et là où des solutions de continuité permettaient aux eaux d'avoir prise. Les couches récentes sur les bords des massifs anciennement exondés ont été arrachées; les parties convexes et fendillées des rides furent emportées; les formations ont été plus ou moins ravinées et décimées suivant le degré de résistance qu'elles présentaient et la violence du courant.

Tout le relief du sol se ressent de cette triple action: du ride-ment, des failles, de la dénudation. Les ondulations de la plaine sont disposées en plusieurs séries de collines parallèles; ce sont les débris des *rides* du sol que la dénudation n'a pu emporter. De larges vallées longitudinales sillonnent le pays peu profondément et marchent dans le même sens que les collines. Ces parties con-

caves des rides partagent les croupes par de larges fonds de bateau ; on peut les appeler des *vallées de séparation*. D'autres grandes vallées qui se dirigent vers le N.-N.-E. coupent à angle droit tous les accidents du ridement ; elles servent de lit aux rivières principales du pays, et sont tout aussi bien taillées à travers les rides qu'à travers les vallées longitudinales. Le niveau des couches d'une même formation varie ordinairement sur les deux côtés de ces vallées ; elles sont , dès lors , évidemment des failles élargies démesurément par les courants diluviens postérieurs, qui, par leur action successive , en ont même altéré parfois la direction rectiligne (1). Souvent les rivières se détournent brusquement pour couler soit dans les vallées longitudinales, soit entre des couches moins résistantes ; la fente continue alors dans sa direction primitive, ou elle se cache et ne reparait que plus tard. C'est ainsi que la Wipper, après s'être traînée depuis Hettstaedt jusqu'au-delà de Sandersleben, dans une de ces grandes failles élargies où le rejet n'est pas moindre de cent pieds, la quitte près de Freckleben et court sur la petite ville d'Aschersleben pour se diriger ensuite vers Güsten, en suivant, après avoir opéré sa réunion avec l'Eine, une autre faille parallèle à la première. Rien mieux que le cours de toutes ces rivières au sortir du Harz , de la Wipper, de l'Eine, de la Selke , de la Bode , de la Holzemme , de l'Ocker, etc. , ne pourrait démontrer la double origine des vallées , dues d'abord à des fentes profondes, remplies depuis par l'écroulement et élargies d'une manière démesurée par une action érosive postérieure. Rien n'apprend mieux la puissance de ces deux agents, du *feu intérieur* et des *eaux superficielles*. Les traces de l'un sont voilées , on ne les découvre que par l'étude des couches solides ; l'autre se manifeste de toutes parts à l'observateur du relief.

En dehors de cette structure générale , de ces deux grands systèmes de vallées , les vallées de séparation et les vallées transversales, qui forment comme un réseau sur le pays et le découpent en un grand nombre de parallélogrammes rhomboédriques plus ou moins élevés , le mécanisme du relief actuel de chaque ride offre encore une série de phénomènes aussi intéressants que ceux

(1) Il y a longtemps que l'on sait que la plupart des rivières coulent dans des vallées qui doivent leur origine à des failles, leur creusement et élargissement aux eaux. M. de Buch et M. Boué l'ont démontré pour plusieurs cours d'eaux de l'Allemagne ; M. Dufrénoy, pour la Garonne ; M. É. de Beaumont, pour le Rhin ; M. de La Bèche, pour les vallées du terrain de craie de l'Angleterre ; M. Dumont, pour celles de la Belgique.

que M. Thurmann a étudiés avec un soin si éclairé dans le Jura de Porentruy (1). On y distingue principalement : *a.* Les *axes des rides* qui , suivant la nature et la résistance de la plus inférieure des formations dénudées , sont occupées par une *vallée de soulèvement* ou par une *croupe arrondie*. — *b.* Les *chaînes* et les *vallées latérales et longitudinales* ; chaque ride peut en compter plusieurs ; elles se répètent et alternent doublement autant de fois qu'il y avait de formations alternativement solides ou meubles mises à découvert lors de la dernière dénudation. *c.* Les *petits vallons* qui découpent les séries des collines et qui ne sont dus généralement qu'à la simple érosion. Ces vallons ne pénètrent que dans les formations les plus superficielles ; les grandes vallées transversales atteignent jusqu'aux terrains primaires et au granite.

Les abords du Harz sont défendus par une *ceinture* multiple de collines et de vallées qu'on pourrait appeler *circonvallation* , auxquelles on donne collectivement dans le pays le nom de *Harz-Rand* , et qui sont également le produit du redressement , de la nature et de la dénudation des différentes formations.

La hauteur moyenne de ces pays de plaines et de collines , au-dessus du niveau de la mer Baltique , est de 130 à 200 mètres.

§. 5. *Série des différentes formations suivant l'ordre de leur superposition et révolutions qu'elles paraissent avoir subies.*

Je n'ai pas étudié spécialement les couches primaires , mais j'ai parcouru plusieurs fois , et dans bien des directions , les massifs du Harz et de Magdeburg. Après cela , et jusqu'à des études plus soignées qu'on n'en a pu faire jusqu'ici , je crois que , pour ce qui regarde les terrains appelés de transition , il n'y a rien de mieux à dire que ce que M. Élie de Beaumont écrivait en 1833 , dans l'Appendice au Manuel géologique de M. de La Bèche.

1. *Terrain silurien*. — 2. *Système du Hundsrück*. — « Une grande » partie des schistes et des grauwackes du Harz ont subi un premier redressement dans la direction hor. 3-4, c'est-à-dire N.-E. » à N.-N.-E. » Ce redressement a dû être un ridement , et les sommités des arcs ont dû être de bonne heure emportées par une première dénudation. Cette dislocation se rapproche par sa direction de la marche du soulèvement post-silurien du Hundsrück , et serait déjà une forte présomption en faveur de l'existence du

(1) *Essai sur les soulèvements jurassiques de Porentruy*. T. II des *Mém. de la Soc. d'his. nat. de Strasburg*. 1832.

terrain silurien, sinon partout à la surface, du moins à une petite profondeur. Pour ma part, je suis porté à croire qu'une bonne portion des schistes haercyniens, surtout dans la partie orientale du massif, appartient à la *période silurienne*. Le petit nombre de points où l'on trouve des fossiles, ces calcaires d'Elbingerode, qui occupent une aussi grande place au milieu de schistes sans fossiles, et desquels on ne sait pas bien d'où ils viennent ni où ils vont, ne seraient-ils point de petits massifs dévoniens renfermés dans des bassins plus anciens? Les bouleversements ont été si grands et si multipliés dans le Harz, qu'il serait difficile de décider complètement cette question, même après une étude stratigraphique détaillée avec des cartes à grande échelle. D'ailleurs il n'est pas encore bien sûr pour moi que ces calcaires d'Elbingerode doivent être définitivement placés dans la troisième période primaire. Les débris qu'ils renferment sont surtout des Polypiers, et l'on sait que cette classe d'animaux n'est pas bien exclusivement caractéristique de l'une ou de l'autre formation.

3. *Terrain dévonien*. — « Les grauwackes qui forment les collines » au N.-O. de Magdeburg, dit M. Élie de Beaumont, et dans » lesquelles on trouve un grand nombre d'impressions d'Équisétacés » et d'autres plantes peu différentes de celles du terrain houiller, ne » partagent pas la direction hor. 3-4 des autres grauwackes de » l'Allemagne. Elles appartiennent probablement à la partie la » plus récente des dépôts dits de transition, et la direction de leurs » couches est presque parallèle à celle de l'escarpement N.-E. du » Harz, dont le soulèvement a sans doute eu quelque influence sur » le ridement qu'elles ont éprouvé. »

Je ne saurais rien ajouter à l'exactitude de ce court aperçu, sinon que je crois vraiment difficile de réunir, après ces faits, en une seule et même formation, les collines de Magdeburg et la grande majorité des montagnes du Harz. La différence de l'inclinaison des couches, de leur direction, de l'aspect de la roche, etc., et tout cela à si peu de distance, me paraît parler en faveur de cette distinction.

4. *Soulèvement post-dévonien*. — C'est au système des ballons que M. Élie de Beaumont attribue le plus d'influence sur la forme générale du relief du Harz. C'est lors de cette dislocation post-dévonienne que seraient apparues les grandes masses granitiques du Brocken et du Rammberg, qui ne seraient pas analogues à ce granite qui, au Kiffhauser, paraît avoir soulevé une roche d'amphibole, et être postérieur aux terrains du trias. Ces roches éruptives ne sont point sorties à l'état liquide; leur

consistance est prouvée, soit par le fait d'avoir arraché une partie des couches primaires à la manière d'un emporte-pièce, soit par l'influence métamorphique très bornée qu'ils ont exercée sur ces mêmes couches. La grande falaise septentrionale qui termine ce groupe de montagnes suit la direction E.-S.-E. du même soulèvement; une direction E.-O. se reproduit sur plusieurs points de l'intérieur du massif; les couches dévoniennes de Magdeburg et celles du Harz en auraient été redressées ou ridées.

Dès cette époque, le Harz ainsi que les collines de Magdeburg ont constitué des îles au milieu de la grande mer carbonifère (1).

5. *Dépôt du terrain houiller.* — Le terrain houiller s'étend au fond du bassin intermédiaire; on le voit reposer au pied du Harz, près de Maisdorf. Entre Ballenstädt et la Selke, ce terrain, composé de schistes et de grès noirâtres avec empreintes végétales, et renfermant quelques couches de houille et de calcaire peu puissantes, paraît être une formation d'eau douce; il s'appuie doucement, mais en stratification discordante, sur les couches primaires. Il est recouvert par une petite épaisseur de rothliegendes; mais on l'a

(1) Voilà, pour ce qui regarde les terrains primaires de l'intérieur du Harz et de Magdeburg, mon opinion actuelle: elle est incomplète, incertaine, comme tous les systèmes qui ne sont pas basés sur une longue et minutieuse observation; mais elle est, à mon avis, la seule rationnelle. Aussi je demande aux savants géologues qui se sont occupés de ce pays, la permission de la garder jusqu'à ce que des cartes spéciales et faites sur une grande échelle, viennent nous apprendre la disposition exacte et les relations des différentes roches sédimentaires, éruptives, ou métamorphiques, dont l'emplacement, la nature, et les limites, n'ont été donnés jusqu'à présent que d'une manière tout à fait arbitraire.

Ce n'est donc que pour ne pas courir le risque d'être accusé d'ignorance que je crois devoir rappeler l'opinion d'un savant paléontologiste, M. Adolphe Roemer, à Clausthal, qui paraît avoir rencontré dans le Harz la plupart des subdivisions des terrains dévonien et silurien de M. Murchison, et même du terrain cambrien de M. Sedgwick, et qui admet qu'après le dépôt du trias et des terrains jurassiques, tout le massif du Harz a été renversé complètement, de manière que les couches qui occupaient la position supérieure vinrent se placer à la partie inférieure: « *Nach der Ablagerung, etc..., das ganze Uibergangsgebirge ist übergestürzt.* » Du reste, M. A. Roemer dit lui-même qu'il n'a pas eu la temps de visiter convenablement les roches en place, et que pour ses déterminations il n'a pu compter que sur quelques fossiles appartenant à un petit nombre de points, et tirés d'anciennes collections. (A. Roemer, *Die Versteinerungen des Harzgebirges. Hannover, 1843.*)

atteint en plusieurs endroits par des puits, et même par une galerie poussée du fond de la vallée de la Selke dans le flanc de la montagne. Ce terrain est le premier dont les couches, s'appuyant faiblement sur le plateau haercynien, affectent la direction E.-S.-E., normale pour tous les terrains secondaires du pays. Au-delà des limites de ma carte, on le voit encore affleurer de dessous le rothliegendes, dans les environs de Halle, où il est bouleversé par les porphyres, et près de Neustadt et d'Ilfeld, au midi du Harz; on le voit de nouveau apparaître sur les pentes du Thüringerwald près d'Ilmenau, etc. Des recherches l'ont déjà mis à découvert dans quelques autres points des différentes parties des anciens pays saxons.

Le terrain houiller est-il une formation générale indépendante appartenant à une seule époque, ou bien ne serait-ce qu'un accident dans les terrains des périodes paléozoïques, ainsi que Humboldt l'avait pensé il y a longtemps? L'uniformité de composition et de végétaux qu'on y remarque parlerait pour la première hypothèse. Mais on a trouvé des houilles dans le terrain dévonien (bassin de la Basse-Loire), tout aussi bien qu'au-dessus du calcaire carbonifère. Au Harz, il paraît être intimement lié avec le nouveau grès rouge. Je crois beaucoup plus rationnel et plus conforme à l'observation d'admettre la deuxième opinion. En effet, le terrain houiller n'est ordinairement qu'un produit riverain de tourbières immenses qui se sont formées dans les périodes tranquilles de la vie du globe, à une époque où la végétation avait déjà pu s'étendre sur la terre, mais où la température centrale, ayant encore beaucoup d'influence à la surface, donnait aux climats une grande uniformité et encombrait de vapeurs humides l'atmosphère déjà chargée d'une grande quantité d'acide carbonique. Or, rien ne nous oblige à limiter ces conditions générales à une seule période. Dès lors, il est très probable que la même végétation a pu se continuer à travers des révolutions partielles pendant tout le temps très long pendant lequel ces circonstances n'ont pas été sensiblement altérées.

Quoi qu'il en soit, il me paraît assez vrai de dire que le terrain houiller du Harz est le produit de l'époque de tranquillité qui a précédé immédiatement la dispersion des immenses dépôts meubles qui ont donné lieu à la formation du rothliegendes, et que ce terrain étant plus ou moins riche, plus ou moins compliqué, s'étend non seulement sur une grande partie du fond du bassin subhaercynien du nord, mais également dans de grandes étendues de la Thuringe où il est recouvert partout par la formation puis-

sante de ce même rothliegendes. Il est même très probable que son épaisseur, à l'instar de celle des formations supérieures, aille en augmentant à mesure qu'on s'éloigne du bord des massifs primaires. Jusqu'à présent on n'a établi des exploitations que sur la limite des bassins, ou bien là où le terrain houiller a été relevé par les porphyres. Je pense que des recherches dirigées avec intelligence dans des localités convenables, dans l'intérieur des bassins des anciens golfes, pourraient offrir de grands avantages. Les seules difficultés qui se présentent contre la réussite de semblables essais sont la grande profondeur à laquelle il faudrait aller chercher la houille, et surtout le système du morcellement des concessions qui régit, en Prusse, l'industrie minière, et qui, favorisant une concurrence jalouse et formidable, s'oppose sans remède à toute avance de capitaux considérables. Mais la cherté du combustible, le développement toujours plus grand de l'industrie, la prévision intelligente du gouvernement de Berlin, sauront bientôt venir à bout de ces obstacles.

6. *Dépôt du rothliegendes et du zechstein.* — 7. *Mouvements post-permiens.* — Les formations permienes recouvrent les couches houillères sans qu'on puisse bien s'apercevoir d'une discordance de stratification entre ces terrains. Elles se composent, comme chacun sait, de deux grands groupes, le rothliegendes et le zechstein, qui, dans ce pays, lui est concordément superposé. Une foule de dépôts subordonnés, tels que le weissliegendes, le kupferschiefer, la rauchwacke, l'asche, le stinkstein, les gypses, le sel, les calcaires magnésiens ou ferrugineux, les dolomies proprement dites, complètent ce terrain. Les couches permienes affleurent presque partout autour des massifs primaires ou granitiques du Harz, de Magdeburg, du Kiffhauser, du Thüringerwald, sur lesquels elles s'appuient plus ou moins doucement. Elles sont très étendues à la surface dans le pays du Mannsfeld. Ce terrain entre dans le domaine de ma carte depuis Ballenstaedt jusqu'à Hettstaedt. Il repose ici sur les couches anciennes ou sur le terrain houiller, avec une inclinaison N.-N.-E. d'environ 15° à 35°; et il se montre encore entre Blanckenburg et Wernigerode, mais en couches verticales. Freiesleben donne une description détaillée de ses caractères.

Le groupe du zechstein apparaît de dessous le grès bigarré (*Bunter-sandstein*), dans le fond d'une large vallée de séparation, près d'Egeln, au beau milieu du bassin subhaercynien, où il forme une petite croupe qui s'enfonce presque verticalement des deux côtés sous les dépôts triasiques et supérieurs. Cette circonstance me paraît

indiquer que ce golfe permien a été partagé de bonne heure en deux bassins par un léger ridement qui a eu lieu pendant et après le dépôt du zechstein, et avant la formation des terrains du trias. Le mouvement post-permien me paraît encore prouvé dans ce pays soit par les failles du Mansfeld, soit par l'ensemble du gisement du grès bigarré qui parfois recouvre complètement les terrains antérieurs et va reposer sur les couches primaires, comme au nord du Harz, entre Ballenstaedt et Blanckenburg; tandis que d'autres fois, et précisément là où il y a des éruptions de porphyres en voisinage, il s'arrête à une grande distance de ces roches qui ont évidemment exondé une partie des fondations permienues avant son dépôt. Nous en avons un exemple dans le Mansfeld, près de Magdeburg et d'Ilfeld, etc. Dans la plupart de ces localités, des éruptions de porphyres paraissent avoir eu lieu avant, pendant et après les époques houillère et permienne.

Ces premiers ridements, qui ont eu lieu au fond des mers permienues, ont dû suivre la direction du golfe dans le pays subhaercynien; et d'ailleurs la marche du soulèvement du Hainaut, environ E.-O. sous ce méridien, n'était pas très apte à contrecarrer l'influence de la forme des côtes.

8. *Dépôt du trias.* — Les terrains du trias se sont déposés dans le golfe subhaercynien, comme dans le reste de l'Allemagne, au fond des bassins ainsi modifiés par les dislocations post-permiennes (1). Ils paraissent reposer immédiatement sur le groupe du zechstein. Le trias se compose là aussi, comme ailleurs, des trois dépôts principaux, le grès bigarré, le muschelkalk et les marnes irisées (*Keuper*). Ces formations renferment accidentellement des gypses et des dolomies. Aucune discordance de stratification n'est appréciable entre elles dans ce pays; les trois membres du trias passent, au contraire, de l'un à l'autre par de nombreuses alternances. Ils sont caractérisés par le même aspect général des roches qu'on a observé dans le Mansfeld et en Thuringe, dans le Wurtemberg, comme au milieu des plaines diluviennes de Berlin, dans les Vosges..., et qu'on trouve si bien décrit dans les ouvrages d'Alberti,

(1) L'opinion qui réunirait en un seul groupe le terrain permien et le trias de l'Allemagne, étant fondée sur une erreur, à savoir, l'intercalation des gypses comme masses éruptives dans toutes les formations de ces deux terrains n'est pas discutable. Si cela était, on devrait ajouter au nouveau groupe, les terrains de la craie, et, par conséquent, les couches oolitiques qui lui sont sous-jacentes, car on trouve du gypse tout aussi bien au milieu du plœner que dans le zechstein.

de Quenstedt, d'Élie de Beaumont, etc. Malgré tout cela, je ne crois pas loin le jour où on reconnaîtra dans le grès bigarré, le muschelkalk et les marnes irisées, trois terrains séparés par des révolutions dont on n'a pas encore pu découvrir les traces jusqu'à présent. Une différence de divers dépôts superposés, aussi grande et aussi soutenue que celle qui existe entre les trois formations triasiques, ne peut s'expliquer que par un changement complet des conditions orographiques générales.

Du pays d'Aschersleben, où le trias repose en couches ordinairement très inclinées dans un fond de bateau étroit et profond, on le suit entre les limites de ma carte, au S. et au N., le long du Harz et vers le Hackelwald. Il forme une ceinture de couches presque verticales et même renversées à -40° et -30° , qui entoure les formations permienes de Hettstaedt et de Maisdorf, et le massif primaire au-delà de Ballenstaedt et près de Wernigerode. Recouvert et peut-être interrompu par les marais de la Sée, on retrouve le trias dans le large bombement du Hackel, du Huy et du grand Fallenstein, entourant et limitant de toutes parts le canal (1) jurassique et crétacé. On le revoit même pendant quelque temps paraître de dessous les couches récentes dans l'axe de la fracture d'élévation de Quedlinburg, au fond de la vallée du Hoppelberg et sur la croupe gypseuse du Sewecken.

9. *Dislocations post-triasiques.* — Le soulèvement du Thüringerwald ne saurait être marqué avec certitude par les directions dans le bassin subhaercynien. Mais l'effet de ce grand cataclysme, qui a bouleversé l'Allemagne et qui a entraîné l'émersion de grandes étendues de pays au midi et au levant, est marqué indélébilement dans les rides et dans les failles qui ont affecté dès lors les dépôts du trias. L'immense étendue des mers du nord de l'Europe, qui entouraient les différents îlots de transition, s'est trouvée tout à coup découpée par ce ridement en plusieurs bassins qui restèrent souvent partagés par les lignes anticlinales des terrains récemment plissés. Notre golfe, qui n'a pas été mis complètement à sec, a cependant subi, lui aussi, un rétrécissement du côté du N.-E.,

(1) Pour éviter toute confusion, on s'est servi, dans cet écrit, du mot *golfe* ou *golfe subhaercynien*, pour indiquer toute l'étendue des mers anciennes qui baignaient le pays compris entre les plateaux actuels du Harz et de Magdeburg. Nous avons plus spécialement employé le mot *canal* pour indiquer l'étendue comprise entre la falaise septentrionale du groupe haercynien et la ride triasique du Hackel, du Huy et du grand Fallenstein.

et a été divisé en plusieurs canaux. La ride moyenne permienne d'Egeln et de Begerstaedt a été exagérée. Les couches du trias appuyées sur celle-ci et sur les bords du bassin ont été contraintes de se recourber, et deux nouvelles grandes rides se sont formées entre la voûte permienne et les massifs primaires. On les reconnaît dans le plissement qui a donné lieu aux rides dont les hauteurs d'Aschersleben, du Hackel, du Huy et du grand Fallenstein, et la croupe large et élevée de l'Elmwald, ne sont que l'exagération produite par des causes postérieures. La ride mitoyenne du terrain permien était sous-marine; elle avait été recouverte par les dépôts triasiques, et le zechstein n'a pu paraître à la surface que par des mouvements bien plus récents et par le déchirement du trias. Sur les deux grands bombements post-triasiques que je viens d'indiquer, il me paraît ne s'être plus déposé de terrains en couches. Dès ce moment l'axe qui réunissait les points où se trouvent le Hackel, le Huy et le Fallenstein, celui de l'Elmwald, une portion de la ceinture du Harz, et le côté N.-E. du bassin, ont été exondés en partie, et sont restés à sec jusqu'aux périodes les plus modernes.

10. *Terrain jurassique.* — Les formations jurassiques, dont on trouve à peu près tous les étages vers l'embouchure occidentale du canal, sous le méridien de Goslar, où M. Schuster les a décrites, et où M. Arndt les a si bien mises à découvert, ne sont représentées dans le pays compris dans ma carte que par un calcaire avec gryphées arcuées que M. Yxem a observé le premier auprès du Scweckenberg, et par quelques autres calcaires coquilliers, par des marnes et des argiles noirâtres et des sables et grès à grain très fin, friables et tachetés en jaune orange, qui se montrent près de Halberstadt, sur la limite méridionale de l'Huywald, et à l'O. de Quedlinburg, au milieu de la fracture de relèvement. L'état des lieux est tel, qu'une description exacte de la superposition de ces différentes parties ne deviendrait possible qu'à la suite de profondes tranchées exécutées convenablement dans le terrain.

La nature des fossiles fait rapporter la plupart de ces couches à l'époque du lias, et fait attribuer à plusieurs d'entre elles une origine d'embouchure (1); car les espèces marines qui s'y trouvent à côté des espèces d'eau douce, et de nombreux débris de vé-

(1) C'est là l'opinion qu'ont également émise M. Roemer (*Versteinerungen des Norddeutschen Oolithengebirges; Hannover, 1836*), et M. Dunker (*Monographie der Norddeutschen Wealdenbildung. — Braunschweig, 1846*).

gétaux, paraissent avoir été amenés des rivages voisins pour y être ensevelis. C'est dans un des calcaires de cette formation qu'on a trouvé ces plantes singulières auxquelles M. Adolphe Brongniart a donné le nom de *Chlatropteris meniscioïdes*, et dont M. Zincken a publié une superbe lithographie.

Le grand golfe subhaercynien ayant été partagé par les dislocations post-triasiques, nous n'avons plus à nous occuper désormais que du canal encore mouillé qui s'est conservé entre le Harz et la ride triasique du Hackel et du Huy. Cette espèce de *ffjord* long et étroit n'acquerrait une certaine profondeur que vers l'O.; dans le pays de Quedlinburg il n'était encore représenté que par des marécages. On ne rencontre les terrains jurassiques, au bord du Harz, qu'au-delà de l'Ecker; ils ne commencent, près de Quedlinburg, qu'au milieu de la ride ouverte, et ils n'arrivent pas même à l'E. jusqu'à la rivière de la Selke. Le trias, déjà exondé en grande partie, circonscrivait tout autour le canal jurassique; vers le Harz par la ceinture élevée qu'il y formait, à l'E. par le plateau d'Aschersleben, au N. par l'axe de relèvement où se trouvent aujourd'hui les hauteurs du Hackel et du Huy. La ride de Quedlinburg n'existait pas encore. Quelque grand courant d'eau provenant de l'intérieur des terres et arrivant du côté du levant par la grande faille d'Ascherleben, venait apporter aux marécages et aux mers jurassiques les eaux douces et les matières de sédiment. Ce fleuve a continué de couler pendant toute la période; son lit devait se trouver entre Halberstadt et Quedlinburg. Après le dépôt du lias, un mouvement lent de relèvement dans le sol paraît avoir reculé vers l'O. les dépôts qui se formaient.

11. *Mouvement post-jurassique.* — L'existence de ce mouvement est évidente, mais ses effets ne furent pas grands dans notre pays. Le fond du canal a été replongé nouvellement d'une certaine quantité; l'embouchure du fleuve oriental a reculé, et le courant continental paraît avoir établi son lit plus au N. Les eaux de la mer envahirent encore une partie des terres émergées, et les sédiments qui se sont faits depuis purent s'étendre jusqu'au-delà des limites de l'ancien bassin jurassique, et venir ainsi reposer, d'un côté sur les terrains primaires du Harz, de l'autre sur les couches du trias auparavant exondées du rivage oriental et septentrional.

12. *Dépôt du terrain crétacé.* — a. L'axe de la ride actuelle de Quedlinburg formait, lors de l'époque crétacée, la partie la plus profonde du bassin qui s'étendait entre le Harz et le plissement triasique le plus voisin au N. de Halberstadt. Un dépôt puissant de grès plus ou moins grossier et blanchâtre, amené probablement

par les eaux des rivières du Harz , est venu d'abord les combler en partie. Ce grès, depuis Ermsleben jusqu'au-delà de Wernigerode , ne se trouve point au bord de l'île primaire ; mais à l'E. de la petite montagne du Hoppel , on le voit dépasser, du côté du midi, les terrains jurassiques, et ceux-ci le dépassent à leur tour du côté du N., vers Halberstadt. Au levant, on le retrouve plus au-delà de la Selke. On le rencontre au couchant près d'Ilseburg et de Goslar ; il forme ainsi une bande qui longe les montagnes qui lui fournissaient les matériaux. Les formations supérieures en recouvrent les limites de tous les côtés, et vont reposer sur les couches plus anciennes. Sa position discordante par rapport au terrain jurassique, est donc parfaitement établie. Ce grès qui renferme quelquefois beaucoup d'empreintes végétales, mais qui ne renferme que rarement des fossiles, est un de ces dépôts auxquels la faculté de donner de bonnes pierres de taille avait fait attribuer par les anciens géologues allemands le nom collectif de *quadersandstein* ; c'est même celui qui me paraît mériter le plus de le conserver. Son épaisseur, qui atteint son maximum aux environs de Quedlinburg, est extrêmement variable, et cette irrégularité s'étend également aux couches qui le composent. Tout indique un dépôt fait dans des eaux peu agitées, et qui a occupé la partie inférieure d'un bassin dont la profondeur était très inégale. Ce *quadersandstein* paraît représenter assez bien le grès vert inférieur du puits de Grenelle (*lower greensand*).

b. Le fond du canal était devenu plus égal ; les montagnes voisines avaient été lavées des débris de la dernière révolution ; notre mer devint habitée. Une formation puissante de calcaire blanc grisâtre, friable, souvent marneux ou un peu siliceux, commençant à sa base par quelques couches très chloritées et même par quelques conglomérats peu grossiers et également chlorités (1), a recouvert les sables amassés et grossièrement stratifiés sur le

(1) Ce sont ces couches chloritées qui, se développant plus loin dans l'intérieur des mers, représentent le gault et la partie la plus inférieure du firestone ou de la craie chloritée. Ces formations sont ici à l'état d'embryon.

Il n'y a pas seulement que ces subdivisions inférieures au plaëner qui se développent à mesure qu'on arrive dans des mers plus profondes ; déjà, près de l'Ilse, on rencontre des marnes qui viennent se placer entre notre calcaire de Quedlinburg et le grès qui le recouvre, et ces marnes, qui deviennent bleuâtres, acquièrent une assez grande puissance à la base de Suttmerberg, près Goslar. M. Roemer les a comparées à la craie marneuse.

fond. Elle s'est étendue démesurément en venant reposer au N. sur les couches du jura et triasiques, au pied de la ride du Huy; elle a recouvert au midi la ceinture relevée et déjà dénudée du trias, et jusqu'aux pentes primaires. A l'E., ce dépôt n'a dépassé que légèrement les terrains inférieurs; ils sont à l'O. des limites de ma carte. Les débris organiques marins abondent dans ce calcaire, qui possède à peu près tous les caractères minéralogiques de la craie marneuse ou tufau. L'*Ananchytes ovatus*, le *Spatangus coranguinum*, le *Plagiostoma spinosum*, plusieurs Inocérames, différentes Térébratules et diverses *Schizophia*, ordinairement changées en silex, y sont les plus communs. Le *Scaphites æqualis* paraît se trouver, mais peu abondamment, à toutes les hauteurs de cette craie, et même dans le grès qui la recouvre; j'en ai vu de beaux échantillons dans la superbe collection des fossiles de ces terrains, qui appartient à M. Jasche, à Ilsenburg. On regarde généralement cette formation comme représentant le *plaener-kalk*; elle me paraît pouvoir être rapprochée, approximativement, de la craie chloritée ou tufau et du gault.

c. Un vaste dépôt de sables et de grès à ciment calcaire ou siliceux est venu recouvrir, dans la suite de la période crétacée, tous les sédiments antérieurs. Ce dépôt de grès, à grains parfois grossiers, ordinairement d'une grosseur moyenne, très chargé de parties chloritées dans ses couches inférieures, abondant en argiles quelquefois marneuses, et renfermant des lignites plus ou moins bien carbonisés dans l'étage supérieur, est entremêlé, à toutes les hauteurs, de roches très dures et de portions de couches qui sont de véritables quartzites, souvent même lustrés et transparents. Cette formation, connue sous le nom de *Greensand* chez plusieurs géologues allemands, et sous celui de *Oberer-creide-mergel* chez quelques autres, paraît se rapprocher assez de la craie supérieure et renferme même plusieurs formes de la craie de Maëstricht (1); elle s'est étendue bien au-delà des limites du calcaire sous-jacent, qu'elle a dépassé vers le S., en allant s'appuyer sur la grauwacke des pentes haercyniennes, tandis qu'à l'E. on la poursuit jusque sur les marnes irisées, et au N. on en retrouve des lambeaux sur les pentes méridionales de la ride triasique. Dans toute la partie occidentale du canal, où cette formation était encore plus puissante, les dénudations postérieures n'en ont épargné que quelques lam-

(1) M. Roemer, qui regarde la craie de Maëstricht comme devant être placée au-dessous de la craie blanche supérieure, classe son *Oberer-creide-mergel* immédiatement au-dessus de la craie sans silex.

beaux , qui , ainsi que le Galgenberg près Wernigerode , et le mont Suttmer en face de Goslar, restèrent debout , témoins irrécusables de l'étendue du dépôt et de la violence des eaux dévastatrices. Les dépouilles d'animaux marins sont très abondantes dans certaines parties de ces sédiments ; on y voit entre autres d'immenses Inocérames et des pattes d'Écrevisses , et ces grandes empreintes de feuilles qui sont connues sous le nom de *Credneria* (Zenker) ; la *Trigonia alaeformis* (Park.), le *Pecten quadricostatus* (Sow.), et la *Chrysaora pulchella*, y sont communs ; on y trouve des feuilles de saule , et j'y ai recueilli , près Blanckenburg , le *Baculites anceps* (Lamk.), et au Salzberg un *Bélemnite* qui me paraît être le *Mucronatus*.

Cet ensemble de formations termine , dans notre pays , la série crétacée. Au premier abord , on serait porté à les partager en deux étages ; une étude soignée ne tarde pas à démontrer que la division en un système chlorité inférieur et un système à argiles et lignites au-dessus n'est qu'apparente , et que toutes les couches , de quelque nature qu'elles soient , alternent entre elles sans aucune règle constante. Il serait difficile de trouver dans une formation une plus grande variété de composition et d'aspect minéralogique qu'il n'en existe dans ce dépôt. Les couches de grès , d'argiles , de marnes , de lignites , alternent et se suivent pêle-mêle , comme autant de lentilles très minces et enchevêtrées. Dans une seule et même couche , et à très peu de distance , le grès passe quelquefois par toutes les grosseurs de grain imaginables. Il est siliceux ou calcaire ; chargé de chlorite ou d'oxide rouge et d'hydroxide de fer ; sa texture est lâche ou compacte , et il affecte toutes les couleurs possibles ; il passe soudainement du sable le plus délié au quarzite le plus compacte et le plus cristalloïde. Le caractère minéralogique est donc complètement en défaut ; et pourtant il existe un certain facies général propre à la formation dans tout le bassin , qui ne permet guère de se méprendre.

Près de Quedlinburg , les lignites qui se trouvent dans ces grès en couches fort peu puissantes , et qu'on n'a ordinairement exploitées qu'avec perte , ont pris l'aspect de la houille , mais d'une houille mauvaise et non collante. Plus loin , au-delà de Warnstedt , près du bord du bassin , des couches qui se trouvent dans la même formation , mais peut-être un peu plus inférieurement , donnent une houille maréchale excellente. Malheureusement elles sont là aussi trop peu puissantes pour qu'elles puissent promettre des avantages industriels considérables ; les travaux de recherche qu'on a faits , guidés par la spéculation , ont été d'ailleurs conduits avec

si peu d'intelligence, qu'il serait difficile d'en espérer un succès quelconque.

Du côté d'Aschersleben, au fond des marais de la Sée, on voit un dépôt qui présente tous les caractères pétrographiques de celui de Quedlinburg; seulement les couches de grès et de quarzites sont plus rares, les sables plus abondants, et le combustible, qui s'y trouve en bancs puissants, est à l'état de lignite brun, souvent même terreux. On y a reconnu, comme à Quedlinburg, des tiges de dicotylédones; mais je ne sache pas qu'on ait trouvé, ni dans l'un ni dans l'autre endroit, ces tiges dans une position verticale. On y a également rencontré du succin; je n'y connais point de fossiles. Ce dépôt n'est pas superposé au calcaire crétacé, comme celui de Quedlinburg; mais il s'étend au-dessous des tourbières de la Sée, au sein d'une dépression très allongée, qui, au midi de Hackel, court du S.-E. au N.-O., et qui est probablement en rapport avec une grande fente post-triasique; là, il repose indistinctement sur les couches profondément dénudées des marnes irisées, du muschelkalk et du grès bigarré. Il fait suite aux buttes sableuses qu'on retrouve sur les pentes du Huy. D'après les caractères pétrographiques de ses couches minérales, et d'après sa position, il sera difficile de séparer complètement ce dépôt de celui de Quedlinburg. Et pourtant la nature de son combustible et d'autres analogies nombreuses tendraient à le faire rapprocher des gîtes tertiaires bien déterminés par les fossiles, et qui fournissent les riches exploitations de lignite du Mansfeld, des environs de Halle, de la Thuringe et de la Prusse. Il est en même temps évident que le lignite d'Aschersleben n'a pas été soumis aux mêmes influences que celui de Quedlinburg ou de Warnstedt; ou ce lignite a été déposé plus tard, ou il a subi un procédé de fossilisation différent. Ne pourrait-on pas admettre, ainsi que M. Girard, de Berlin, l'avait proposé, que les couches d'Aschersleben ont été déposées dans l'eau douce, en même temps que le dépôt de Quedlinburg se faisait au fond de la mer? Cette explication a des chances de vérité, surtout si on a égard à la probabilité de l'existence d'une grande rivière qui, venant déboucher, vers la fin de la période crétacée, à l'O. d'Aschersleben, a pu amener ces masses de combustible, qui, déposées dans les eaux douces, n'auraient passé qu'à l'état de lignite brun, et qui, dans les eaux salées, se seraient changées en houille et en houille collante. C'est là, jusqu'à une connaissance plus exacte des débris organiques, l'opinion que je crois la plus acceptable.

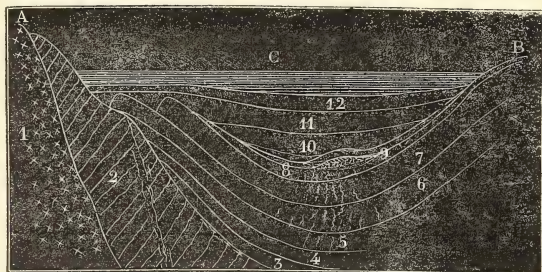
13. *Cataclysmes post-crétacés.* — Cette révolution est celle qui a
Soc. géol., 2^e série, tome IV.

laissé le plus de traces dans la disposition des couches du pays. C'est à ce grand bouleversement qu'est dû principalement le relief actuel de la contrée ; les fendillements et les dénudations successives n'ont pu que le modifier. Pour bien comprendre tous les accidents qui ont eu lieu à cette époque dans notre bassin de Quedlinburg, il faut bien se représenter ce qu'était sa surface au commencement de la période crétacée, ce qu'elle est devenue par suite des sédiments qui s'y sont faits, et la nature des mouvements auxquels l'ensemble des couches fut exposé à la fin de la même période.

Au commencement de la période crétacée, les couches du trias reposant doucement sur les pentes N.-E. du Harz, dans sa partie la plus orientale, étaient fortement relevées à l'O. sur tout le reste de son bord septentrional, et elles y formaient, par suite de la dénudation, une double ceinture à section triangulaire, où les tranches redressées et dénudées du grès bigarré et du muschelkalk formaient comme deux grandes enceintes qui défendaient les approches du massif primaire. Les marnes irisées, ayant été rasées en raison de leur peu de consistance, venaient s'appuyer doucement sur le dos du muschelkalk. Plus loin, dans l'intérieur du golfe, ces mêmes formations se relevaient une première fois pour former la grande ride qui, sans s'élever à la hauteur actuelle du Hackel et du Huy, était émergée depuis le commencement de la période jurassique. Les couches permienues paraissent avoir été complètement recouvertes, à cette époque, sur toute l'étendue du pays que comprend ma carte ; celles du jura reposaient en couches peu inclinées au fond du bassin, recourbé et rendu assez profond par le dernier mouvement post-jurassique. Ce même mouvement a dû produire un commencement d'action plissante au milieu des couches du jura, qui étaient ainsi relevées des deux bouts.

Pendant la période crétacée, le quadersandstein a comblé, près de Quedlinburg, les parties les plus profondes du canal ; mais il ne paraît pas avoir dépassé la ceinture triasique pour s'étendre jusque sur la grauwacke. Peut-être même l'abaissement, qui avait commencé après la période jurassique, se continuait-il lentement, de manière que les flots ne vinrent que plus tard baigner les pentes des couches primaires, à l'époque du sédiment de la craie, laquelle s'étendit horizontalement sur le fond de tout le canal, depuis le Harz proprement dit jusqu'au pied de la ride du trias, en recouvrant ainsi, par ses couches les plus supérieures, la double ceinture du muschelkalk et du grès bigarré. Le grès à lignites ne fit que s'ajouter après le calcaire, en le dépassant de tous les côtés.

Entre ces deux derniers sédiments, il a dû y avoir un mouvement qui a permis à la rivière orientale de reprendre son cours, ou une partie de son cours, au midi du Hackel; ce mouvement n'est peut-être autre chose que la continuation de l'abaissement séculaire qui a signalé la période crétacée dans ce point du globe. La figure suivante représente assez bien la section théorique du bassin vers la fin du dépôt du grès crétacé à lignites sous le méridien de Quedlinburg (1).



S.-S.-O.

N.-N.-E.

A Le Harz.

B La ride du Hackel.

C Niveau de la mer crétacée.

1. Granite.
2. Couches primaires.
3. Terrain houiller.
Terrain { 4. Rothliegendes,
permien. { 5. Zechstein.

Trias.	{	6. Grès bigarré (<i>Buntersandstein</i>).
		7. Muschelkalk.
		8. Keuper (marnes irisées).
Craie.	{	9. Formation du Jura.
		10. Quadersandstein.
		11. Calcaire crétacé.
		12. Grès à lignites.

Vers les derniers moments de la période, le mouvement séculaire a eu lieu en sens contraire dans le golfe subhaercynien; notre canal n'a pas tardé à être mis à sec; de là l'absence des formations crétacées les plus supérieures. La petite ride du jura a été exagérée par ce mouvement, qui, en diminuant la capacité du bassin, tendait à développer, même dans les formations supérieures, les germes de cette ride. Au moment de la rupture, l'élévation verticale du bassin subhaercynien qui avait développé la ride intermédiaire subit un accroissement rapide, en même temps que le massif primaire fut relevé démesurément. Le gisement actuel des couches est le résultat de ces mouvements combinés. La ride triasique, au N. de Halberstadt, a été exagérée, et le Hackel, le Huy et le grand Fallestein se sont élevés à leur hauteur actuelle; la ride permienne d'Egeln a subi elle-même un mouvement, et le zechstein a paru

(1) L'échelle des hauteurs est, dans cette figure, extrêmement exagérée.

à la surface au milieu du trias déchiré ; une nouvelle grande ride se forma au centre du canal et le partagea longitudinalement , à commencer de la Selke , en deux moitiés à peu près égales ; on en voit la suite à Vienenburg , à la hauteur de Goslar. Les couches supérieures ont été fracturées dans l'axe de cette ride , en sorte que la dénudation a pu ensuite avoir beau jeu pour y mettre à nu les formations les plus anciennes ; c'est ainsi que le jura , les marnes irisées , et jusqu'au muschelkalk , apparaissent dans la vallée du Hoppel et au Seweckenberg , en venant affleurer de dessous les terrains plus modernes (1). La ceinture à section doublement triangulaire du trias a été brusquement relevée au bord du Harz ; les couches crétacées qui la surmontaient en ont été brisées , et tandis que les tranches de ces couches étaient redressées sur le dos du muschelkalk , et y formaient les rochers de la *Teufels-Mauer* , ou bien qu'en s'appuyant sur la paroi qui se soulevait , elles se recourbaient comme au *Gelber-Hof* , près de Thale , les parties de la formation de la craie et du grès crétacé à lignites qui se trouvaient entre le grès bigarré et le Harz furent soulevées en sens contraire , et de façon à obtenir une inclinaison méridionale très forte qui a pu arriver jusqu'à la verticale. Dans les endroits où les tranches de la ceinture triasique étaient déjà à plomb , le nouveau mouvement les a renversées. C'est ce qui a eu lieu sur plusieurs points de notre district , et qu'on revoit plus loin , près de Goslar , où le renversement connu depuis longtemps s'est étendu également aux couches jurassiques , qui , dans cet endroit , étaient assez puissantes et arrivaient jusqu'au bord du bassin (2).

(1) Dans la ride pyrénéenne de second ordre , à qui sont dues les croupes du Hoppel et du Sewecken , le mouvement n'a suffi qu'à briser les couches crétacées. Sans l'action du gonflement des gypses , elle aurait partout une élévation uniforme , et les formations du trias n'auraient pu être mises à découvert par les dénudations postérieures , qui n'auraient peut-être pas même atteint le terrain jurassique. Aussi c'est surtout où les gypses se montrent que nous voyons un relèvement hors proportion des couches inférieures.

Ce même phénomène a eu lieu dans la ride triasique du Huy. Cette ride existait lors de la période jurassique , mais sa hauteur était uniforme , et , relativement au terrain environnant , encore moindre de celle qu'atteignent aujourd'hui les dépôts keupriques près Groeningen ou Deersheim. C'est après la révolution des Pyrénées que cette ride a été rehaussée et que la gypsification y a produit des espèces de renflements qui ont donné lieu au Hackel , au Huy , etc.

Je reviendrai sur ce sujet en parlant de l'origine des gypses.

(2) Il est bon de noter ici que ce ne sont que les tranches des cou-

Il m'est impossible de déterminer, pour le moment, si ce grand mouvement pyrénéen n'a produit qu'un rehaussement des anciennes masses ignées de l'intérieur du Harz, ou bien s'il a été accompagné par quelque éruption de roches massives. Je ferai seulement observer qu'il reste encore au milieu des schistes primaires plusieurs roches éruptives, et surtout des produits de filon qui sont loin d'être classés.

Dans tout le reste du golfe subhaercynien, entre le Harz et le plateau de Magdeburg, il s'est produit des effets analogues, et des rides intermédiaires sont venues subdiviser encore davantage le bassin déjà morcelé. Mais cela sort des limites que nous nous sommes posées.

14. Je ne connais pas de terrains tertiaires en couches dans le canal compris entre la ride du Huy et le Harz; mais une grande dislocation y est marquée par un système de fentes et de failles dont la direction oscille entre le N.-E. et le N.-N.-E. La plupart des rivières qui descendent des pentes septentrionales du Harz ont choisi dans ces failles leur lit originaire, et lorsqu'un cours d'eau les abandonne, on en voit bientôt un autre entrer dans la même direction et en marquer le prolongement. Ces accidents s'étendent à tout le golfe subhaercynien; ils remontent jusqu'au-dessus du grès crétacé à lignites, qui en a été rejeté tout aussi bien que les terrains plus inférieurs. Le rejet n'a pas été horizontal; l'effet produit, qui a toujours été le relèvement vertical d'un des côtés, se manifeste à la surface, soit par des différences de niveau dans les couches contemporaines, lorsqu'elles sont peu inclinées, soit par des brisements dans les lignes des affleurements horizontaux, lorsqu'elles sont plongeantes. Les dislocations dont il s'agit ne sauraient donc être antérieures à la période crétacée; mais on pourrait également les regarder comme appartenant au mouvement des Pyrénées, ou comme lui étant postérieures. On pourrait les attribuer au crevassement rayonnant qui a dû se faire dans tout le sol des environs par un rehaussement des granites du Harz qui aurait eu lieu à cette époque. Mais si l'on a égard à ce que ces fentes, non seulement ont rejeté tous les terrains secondaires de la plaine, mais qu'elles se continuent dans l'intérieur des montagnes, et qu'elles affectent tout aussi bien les roches primaires et

ches triasiques et jurassiques qui sont ainsi renversées près de Goslar; les couches primaires n'ont aucunement empiété sur celles-ci, qui reposent, au contraire, comme toujours sur les schistes et les grauwackes.

éruptives (1), et qu'on les retrouve, quoique moins bien marquées, dans la Thuringe et plus au N.; qu'on les reconnaît à l'E. et à l'O. du Harz, là où le relèvement de ce groupe ne saurait avoir eu aucune influence, il est impossible de s'arrêter à cette idée (2). Ces grandes failles ont donc été produites après le cataclysme post-crétacé, et la circonstance que, sur un grand nombre de points à la suite, tels que la vallée de la Wipper, de la Selke, de la Bode, de la Holzemme, de l'Ocker, etc., c'est le côté droit qui a été relevé, nous montre qu'elles sont dues à une cause plus générale.

15. Plusieurs dénudations se sont succédé dans le pays après l'ouverture des grandes fentes transversales précitées, et plusieurs remblais ont été dispersés par les eaux diluviennes ou marines à différentes époques, soit pendant les périodes les plus récentes, soit à leur limite. L'étude de ces dépôts et de ces révolutions sera l'objet d'un travail tout spécial.

Si, après avoir étudié le canal de Quedlinburg, nous venons à considérer le golfe subhaercynien, nous y verrons, à quelques modifications près, la répétition des mêmes dépôts; nous y rencontrons les traces des mêmes révolutions qui y ont produit des effets analogues. Je dirai plus. Si d'un œil scrutateur nous cherchons à pénétrer par notre esprit dans les abîmes où les couches secondaires de la Basse-Allemagne cherchent un refuge; si, en nous retour-

(1) M. de Buch a attribué à une grande fente la vallée de la Bode, là où elle est entaillée dans le granite. M. Zincken a trouvé plus tard des accidents de la roche qui se correspondent des deux côtés de la rivière, et il en a déduit que l'opinion de M. de Buch était erronée. Les faits cités par M. Zincken sont très exacts, et, il faut le dire, par des recherches circonscrites au massif granitique il était impossible d'arriver à une solution certaine. Ce n'est que par des considérations générales et qu'après avoir étudié toute la plaine qu'on s'aperçoit du rejet évident des couches de sédiment, qui viennent appuyer et prouver matériellement l'hypothèse qu'un coup d'œil sûr et rapide avait fait naître dans l'esprit du doyen des géologues. Du reste, ce n'est pas seulement auprès de la majestueuse Rosstrappe que les granites haercyniens sont coupés par ces fentes.

(2) La faille de la Wipper, avec plus de 400 pieds de rejet, passe à l'E.-S.-E. à côté du massif primaire du Harz. Elle paraît cesser au-delà du Sandersleben, mais bientôt elle reparait dans la direction de la Saale, près de Berenburg, et elle conduit cette rivière vers l'Elbe.

La vallée du Weser, près de la *Porta Westphalica*, appartient, elle aussi, à ce système de failles, dont je pourrais multiplier les exemples à l'infini, en les prenant dans toute l'Allemagne du nord, dans la Thuringe, dans la Westphalie.

nant vers les plaines de Frédéric , nous essayons de dévoiler ces bassins que recouvrent les ruines d'un ancien monde , nous y retrouverons nos failles , nos rides , nos vallées de plissement. Pas une roche étrangère ne trouble l'harmonie de ces lois. Quelques jalons perdus , quelques buttes de grès , de calcaires , de gypses , au Sperenberg , à Rüdersdorf , dans le Lüneburg ou le Holstein , viennent nous rappeler , nous conduire à la découverte des gisements inconnus des formations primaires et secondaires. Bientôt nous reconnaissons ces dépôts à Rügen et dans le Danemark ; nous les suivons sous les plaines mouvantes de la Baltique , pour leur dire adieu encore une fois sur les côtes de Helgoland , de la Scanie , de l'île de Gothes ; pour les abandonner à leur immensité dans les déserts de la Moscovie.

Ce Mémoire était déjà composé et sous presse lorsqu'il m'est parvenu une lettre que M. Édouard de Verneuil m'adressait de Blankenburg , après avoir fait une course rapide à travers les massifs primaires du Harz. L'autorité de notre savant collègue , en matière de terrains de transition , est si grande , que je ne saurais m'empêcher de commettre la petite indiscretion de publier le jugement d'un tel paléontologiste , même avant d'en avoir reçu son autorisation.

« N'ayant malheureusement pas rencontré M. Arendt à Goslar ,
 » je n'ai pu voir que quelques fossiles du grès qui , au sommet du
 » Rammelsberg , recouvre les schistes. Ces fossiles sont dévonien
 » et se trouvent dans la collection de M. Nessig. M. Nessig m'a
 » engagé à aller à Clausthal et surtout à Grund. C'est , en effet ,
 » l'Eden du paléontologiste , un paradis véritable *par rapport à ce*
 » *qui l'attend presque partout ailleurs dans le Harz.* Grund , à deux
 » lieues de Clausthal , est délicieusement situé , et dans ses envi-
 » rons se trouvent les monts Iberg , Winterberg et Hübickenstein ,
 » composés de calcaire-coquiller associé à des gîtes de fer sem-
 » blables à ceux qui accompagnent les mêmes calcaires sur la
 » Lahn et dans le duché de Nassau. Les fossiles que j'ai trouvés
 » sont incontestablement dévonien et appartiennent même à la
 » partie supérieure du système. Il y a trois espèces carbonifères , et
 » les schistes qui surmontent le calcaire contiennent la *Posidonia*
 » *Becheri* qui caractérise ailleurs les formations de passage du
 » système dévonien au système carbonifère.

» Les plantes que l'on trouve dans les schistes des environs de
 » Clausthal , les fossiles des grès du Kahleberg , tout annonce le

» système dévonien et rien de plus ; on a trouvé même une espèce
 » réellement dévonienne dans le filon de Bockswiese. Voici pour
 » la partie occidentale du Harz.

» Je suis venu aujourd'hui de Clausthal à Blankenburg ; mal-
 » heureusement la pluie a été presque continuelle. Depuis Claus-
 » thal jusqu'à Rübeland , il n'est pas question de fossiles ; ce sont
 » des quarzels, des schistes, des granites, etc. Les calcaires de
 » Rübeland sont entièrement composés de coraux, on y trouve le
 » *Stromatopora concentrica*, le *Calamopora polymorpha*, le *C.*
 » *Gothlandica*, ou une variété à tubes étroits, le *Porites interstinct-*
 » *ta*, et un *Cyathophyllum*, voisin du *C. ananas*. Ce sont absolu-
 » ment les mêmes calcaires que ceux de la Lahn, un peu au-
 » dessous de son embouchure dans le Rhin ; ils sont accompagnés
 » de même de minerais de fer et de schaalstein, au moins m'a-t-il
 » semblé voir de nombreux fragments de ces roches, mais je ne
 » les ai pas vues en place. Cet assemblage de coraux, remarquable
 » en ce que les caténipores ne s'y trouvent pas, rappelle absolu-
 » ment l'ensemble de ceux qui composent les calcaires de l'Eiffel,
 » et surtout ceux de l'Oural sur la rivière Febussawaya ; mais
 » dans cette dernière localité ces calcaires sont en contact avec le
 » calcaire carbonifère, tandis qu'ici ils paraissent être enveloppés
 » de schistes.

» Voici le peu que je puis vous dire de l'âge de quelques-unes
 » des roches du Harz. Qu'il y ait des roches siluriennes, c'est
 » possible, mais je l'ignore. Les fossiles du Rammelsberg, du
 » Kahleberg, de Grund et de Rübeland sont tous dévoniens. »

Ces faits ne sauraient ébranler ma conviction que les schistes du Harz sont siluriens. En partant de cette supposition, nous avons deux cas seuls possibles à examiner : ou les schistes et les calcaires d'Elbingerode sont le produit de deux périodes successives, ou bien ils n'appartiennent qu'à une seule période. Le premier cas me paraît assez probable ; je me fonde pour cela sur la manière d'être de ces calcaires au milieu des schistes, et sur le mode de formation rationnel des dépôts à coraux et ferrugineux. D'après cela, il est assez vraisemblable d'admettre que les calcaires d'Elbingerode et de Rübeland n'ont été déposés qu'après que les schistes qui les supportent formaient déjà différents bassins isolés. De cette manière serait expliqué ce fait si extraordinaire d'un amas calcaire très puissant sur un point isolé, mais très restreint et limité dans son étendue. Cette conclusion serait également conforme à ce qui paraît être indiqué par la moyenne générale des directions des schistes inférieurs.

Comme en Belgique et dans l'Ardenne, il y aurait donc dans le Harz deux systèmes primaires, dont l'un caractérisé par sa direction générale N.-E., et composé de schistes sans fossiles, se rapprocherait du terrain ardoisier également pauvre en pétrifications de l'Ardenne proprement dite, tandis que l'autre plus restreint, caractérisé par ses fossiles, caractérisé même, dans les environs d'Elbingerode, par sa direction environ E., 5° à 10° N., répondrait à une période plus récente et aurait l'âge que lui assigne M. de Verneuil. Dans tout cela, il ne faut pas oublier que les grands bouleversements de l'époque des granites ayant eu lieu après le dépôt de tous les terrains sédimentaires qui se trouvent dans le Harz, les dépôts de différents âges ont pu subir des redressements communs qui leur ont donné une apparence de concordance de stratification. C'est ainsi que s'expliquerait le fait cité en premier lieu par M. Zincken, que les calcaires de Rübeland sont intercalés entre les schistes sans qu'on puisse remarquer une discordance. Lorsque des dépôts différents sont redressés après coup sous des angles de plus de 50°, toute discordance entre eux finit par disparaître. Le fait cité par M. de Verneuil que ces mêmes calcaires sont, dans l'Oural, en contact avec le calcaire carbonifère, est bien propre à appuyer cette probabilité, que le massif d'Elbingerode ne soit formé que de couches brusquement repliées, qui s'étendaient auparavant sur le fond d'un petit bassin.

Mais il se pourrait que, par la suite, des études plus soignées et faites avec de meilleures cartes que celles qui ont été exécutées jusqu'à présent vinssent prouver sans retour que les calcaires à fossiles dévoniens d'Elbingerode et les schistes qui les renferment appartiennent bien et dûment à une seule et même période. Cette objection, je l'avoue, serait très grave; mais le gisement des schistes haercyniens inférieurs aux calcaires est tel, leur différence d'avec les grauwackes de Magdeburg est si marquée, qu'il m'est impossible de consentir à ce qu'on les réunisse en un seul groupe. Dans l'état actuel de la question, je ne saurais convenir que les schistes et les grauwackes du Harz ayant une direction presque constante environ N.-E., soient les correspondants du vieux grès rouge des Anglais, et des couches qui, sur le continent, en sont le véritable représentant : le *poudingue du Burnot*, le *calcaire de Givet* et le *psammite du Condros*, dépôts dont la discordance avec le terrain ardoisier de l'Ardenne a été reconnue après les observations de M. de Collegno.

Séance du 17 mai 1847.

PRÉSIDENTENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite de la présentation faite dans la dernière séance, le Président proclame membre de la Société :

DERVICH-PACHA, général d'état-major, professeur de chimie et de physique à l'École militaire de S. H. le Sultan, à Constantinople, présenté par MM. Élie de Beaumont et Viquesnel.

Le Président annonce ensuite deux présentations.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. le ministre de la justice, *Journal des Savants*, avril 1847.

De la part de M. Alexis Perrey, *Liste des tremblements de terre ressentis en Europe pendant les années 1844-1845-1846*; in-8°, 71 p. Dijon, 1847.

De la part de M. Lortet, *Rapport sur les travaux de la Commission hydrométrique en 1846*, présenté à M. le maire de Lyon; in-8°, 6 p., avec tableaux. Lyon, 1847.

De la part de M. Sardat, *Loi d'Union*, in-8°, 98 p., 1 planche. Paris, 1847.

De la part de M. R.-I. Murchison : 1° *Address*, etc. (Discours prononcé à la réunion de l'Association britannique pour l'avancement des sciences à Southampton, le 10 septembre 1846); in-8°, 24 p. Londres, 1846.

2° *On the silurian rocks*, etc. (Sur les roches siluriennes de diverses parties de la Suède) (extr. du *Quarterly Journal of the geological Society*, 1^{er} février 1847); in-8°, 50 p., 1 pl. Londres, 1847.

3° *On the discovery*, etc. (Sur la découverte de roches siluriennes dans le Cornouailles); in-8°, 8 p. Londres, 1847.

4° *On the meaning*, etc. (Identité du système cambrien et du système silurien inférieur) (extr. du *Quarterly Journal of*

the geological Society, mai 1847); in-8°, p. 165-179. Londres, 1847.

5° *The Hakluyt Society*; in-8°, 4 p. Londres, 1847.

De la part de M. le baron L. de Buch, *Die Baeren Insel*, etc. (Description géognostique de l'île Cherry (Bären Insel) d'après M. Keilhau); in-4°, 16 p., 1 pl. Berlin, 1847.

Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1^{er} semestre, nos 18—19.

L'Institut, 1847, nos 696—697.

Annales de l'Auvergne, janvier et février 1847.

Mémoires de la Société royale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille. Année 1845.

Société d'agriculture, sciences et arts d'Angers. — *Travaux du Comice horticole de Maine-et-Loire*, III^e vol., nos 25, 26.

The Athenæum, 1847, nos 1019—1020.

The Mining Journal, 1847, nos 611—612.

The Quarterly Journal of the geological Society; nos 9—10. February-May 1847.

Abhandlungen, etc. (Mémoires de la Société royale des sciences de Bohême); 5^e série, t. IV, années 1845, 1846.

M. Fauverge, ayant demandé la parole par suite du procès-verbal, fait les observations suivantes :

Dans la dernière séance, M. Boucault a présenté à la Société des fossiles appartenant au lias, et recueillis aux mines de fer de Veyras (Ardèche), localité qui a été désignée comme appartenant au système oxfordien. J'ai très souvent visité les environs de Privas; à cette époque, on ne connaissait pas encore les mines de Veyras; mais j'ai vu, entre cette localité et le Coyron, des marnes ferrugineuses anciennement exploitées que je n'ai cessé de regarder comme supra-liasiques, et qui, pour moi, sont les mêmes que celles dont on extrait le fer des Avelas dans le canton des Vans, et je pense, d'après les observations que j'ai faites dans ce département, que tous les gisements de minerai de fer qui, dans les environs de Privas, sont à l'O. d'une ligne passant par cette ville et parallèle à l'axe des Cévennes, appartiennent à la partie supérieure du lias. Cette ligne n'est certainement pas la limite rigoureuse de ce terrain et de ceux qui le recouvrent immédiatement, car le lias s'étend aussi à l'E.; mais il n'y a pas de terrain oxfordien entre cette ligne et les Cévennes, où sont les gisements de minerai de fer

de Privas, de Veyras, de Saint-Priest et de Saint-Etienne-de-Boulogne.

D'après les deux intéressants Mémoires, l'un de M. Emilien Dumas, et l'autre de M. de Malbos, lus à la Société dans sa réunion extraordinaire à Alais, le fer de la Voulte ferait partie de l'oxford-clay. M. de Malbos le dit positivement, et M. Emilien Dumas, en parlant des mines de Pierremorte, que cet observateur place avec raison, je crois, au milieu du groupe oxfordien, fait remarquer l'identité de position existant entre ce minerai et ceux de la Voulte, de Privas, etc., *que plusieurs géologues*, ajoute M. Dumas, *s'accordent à considérer comme un équivalent du kelloway*.

Cependant les fossiles de Veyras présentés par M. Boucault appartiennent au lias ; il ne peut donc rester aucun doute sur l'âge du minerai de cette localité, et je suis convaincu que toutes les mines de fer connues du canton de Privas sont de la même époque.

Les gisements de minerai de la Voulte, de Charmes et de Soyons, qui se trouvent entre la ligne dont j'ai parlé et le Rhône, font partie du terrain déposé immédiatement après les marnes du supra-lias, ce qu'il est facile de voir au N.-E. et à peu de distance de Saint-Julien en Saint-Alban, où ces marnes passent insensiblement au calcaire ferrugineux dans lequel sont ces gisements ; ils appartiennent donc à l'oolite inférieure de la rive droite du Rhône, très bien indiquée sur la carte géologique de France de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ; ils sont par conséquent plus anciens que l'oxford-clay.

M. de Buch, en présentant à la Société le Mémoire qu'il vient de publier sur l'île Cherry (*Baeren insel*), donne à ce sujet quelques explications verbales. Cette île, située entre le Spitzberg et l'extrémité de la Laponie, et qui paraît être d'un accès difficile, a été visitée récemment par M. Durocher, membre de l'expédition du Nord ; mais elle l'avait été plus anciennement par M. Keilhau, qui y était resté trois jours. Ce savant ayant détruit le Mémoire qu'il avait publié sur cette île, ses découvertes seraient restées ignorées, s'il n'avait mis à la disposition de M. de Buch le seul exemplaire qui lui restât de son Mémoire, ainsi que les belles collections qu'il avait rapportées.

L'île Cherry est composée de couches horizontales de grès qui appartiennent au système carbonifère , et qui , vers le S. et vers l'O. , forment des élévations coniques de 1,000 à 1,100 pieds. Vers leur partie inférieure , et près du niveau de la mer, ces grès renferment quatre couches de houille. Les *Productus* et les *Spirifer* que M. Keilhau en a rapportés doivent faire considérer ces dépôts comme analogues à ceux qui , en Russie, sont inférieurs au calcaire carbonifère.

M. de Buch entre à ce sujet dans quelques généralités du plus haut intérêt , et fait voir comment , lorsqu'on jette les yeux sur la carte géologique de la Russie , publiée par MM. Murchison , de Verneuil et de Keyserling , on voit très bien les dépôts dévoniens et carbonifères s'infléchir depuis les monts Valdäi jusqu'à la mer Blanche, de manière à suivre les contours des masses cristallines de la Finlande et de la Laponie russe. La présence des grès dévoniens dans le N. de la Laponie , où M. Keilhau nous les a fait connaître récemment , et celle du système carbonifère à l'île Cherry nous démontrent que le massif des schistes cristallins de la Scandinavie est entouré d'une ceinture de dépôts sédimentaires de même âge ; en sorte que, en partant de sa partie centrale et en s'avancant au N. vers l'île Cherry et le Spitzberg, les terrains se présentent dans le même ordre qu'en allant au S. vers la Russie et les monts Valdäi.

M. de Buch ajoute que , d'après les rapports des navigateurs, la mer a peu de profondeur entre l'île Cherry et le Spitzberg , et qu'il est probable que les mêmes dépôts se prolongent sans discontinuité d'un de ces points à l'autre.

Dans le Mémoire qu'il présente à la Société géologique , M. de Buch a décrit un *Spirifer* de l'île Cherry qu'il a dédié à M. Keilhau. Il montre l'analogie que cette espèce offre avec certains *Spirifer* de la terre de Van Diemen , et fait remarquer l'importance , pour distinguer les espèces dévoniennes et carbonifères, d'un caractère que l'on pourrait croire indifférent , et qui consiste en ce que la plupart des espèces carbonifères ont les plis latéraux dichotomes , tandis que toutes les espèces dévoniennes les ont simples. M. de Buch , en publiant cette observation , ignorait qu'elle avait déjà été faite par MM. d'Archiac et de Verneuil

dans leur travail sur les fossiles des bords du Rhin, et se félicite de s'être rencontré avec eux.

M. Murchison (sir Roderick) présente à la Société une nouvelle édition de la carte de Russie d'Europe, contenant des corrections aux contours des formations dans la Turquie et la Transylvanie, faites par M. Boué et M. Partsch de Vienne, et aussi quelques additions d'îlots jurassiques dans les steppes de Savatof, prises des derniers travaux du colonel Helmersen.

En offrant ses deux derniers Mémoires sur les roches siluriennes dans le pays de Cornouailles et dans le pays de Galles, ou *Cambria*, M. Murchison fait voir que, dans le premier de ces deux pays, les roches siluriennes, qui y succèdent au terrain dévonien, ont beaucoup de rapports avec les schistes et les quartzites du même âge en Bretagne.

Quant au pays de Galles, il énonce rapidement quelques uns des arguments dont il s'est servi dans son Mémoire en réponse à la proposition toute récente de M. Sedgwick d'appliquer le mot *Cambrien* à des masses de roches dans le pays de Galles du N., qui sont remplies de fossiles longtemps reconnus comme caractéristiques du silurien inférieur, *lower silurian*. Le mot *Cambrien* n'a été choisi par M. Sedgwick qu'après la promulgation de la classification des roches siluriennes, et il s'appliquait à une région montagneuse et ardoisifère remplie de bandes immenses de porphyre, dans laquelle *on espérait* toujours trouver un ensemble de fossiles distincts de ceux qui avaient été publiés comme types du système silurien. Mais depuis cette époque les recherches de MM. Sedgwick, de La Bèche, Phillips, Ed. Forbes et de beaucoup de géologues ont prouvé que ces roches contenaient en général les types dominants de l'étage inférieur du système silurien, c'est-à-dire les *Orthis* à plis simples, qui avaient été publiés dans l'ouvrage de M. Murchison avec les *Trinucleus* les *Asaphus tyrannus*, *A. Porvisii*, etc.

M. Murchison ajoute aussi que la masse de ces roches ardoisières du pays de Galles jusqu'au Snowdon est concordante par sa stratification avec le terrain silurien anciennement décrit. Elle n'en est donc qu'une grande extension inférieure qui n'était pas connue à l'époque de la publication du système silurien,

mais qui s'accorde parfaitement , sous le rapport des êtres organiques , avec le terrain silurien tel qu'il existe en Scandinavie et en Russie. Selon les vues des auteurs américains , confirmées par M. Lyell , et tout récemment par M. de Verneuil , la succession de la partie inférieure des roches siluriennes du nouveau continent vient également confirmer cette classification ; car les roches fossilifères les plus anciennes y contiennent à peu près les mêmes fossiles qu'en Angleterre , et offrent à leur base les mêmes couches.

En un mot, M. Murchison, en renvoyant à son Mémoire, a déclaré qu'à l'exception de certaines masses de grauwacke très anciennes, sans ou presque sans fossiles, qui, à Longmynd, près de Saint-David's, etc., se relèvent d'au-dessous du terrain silurien dans des positions contrastantes, toutes les roches sédimentaires du pays de Galles appartiennent au terrain silurien , soit par la liaison des masses physiques, soit par celle des êtres organiques. En désirant conserver son système tel qu'il l'a proposé pour la première fois en 1835, comme divisé en *lower* et *upper silurian* (1), il exprime l'espoir que les géologues de tous les pays n'abandonneront pas le véritable sens du mot silurien.

La nouvelle découverte d'ichthyodorulites dans les schistes de Llandilo et dans les calcaires de Bala , associés avec des Cystidées et une infinité de restes caractéristiques du *lower silurian*, en modifiant une généralisation sur laquelle M. Murchison avait insisté une fois, savoir, que les poissons ne descendaient pas au-dessous du silurien supérieur, vient offrir un argument de plus en faveur de l'unité du système silurien. Il est bon aussi de faire remarquer que, si ce terrain se trouvait réduit à cette partie que son fondateur désignait comme n'en étant que l'étage supérieur, selon M. Sedgwick le mot même de silurien disparaîtrait des continents de la Russie et de la Suède , et se réduirait dans quelques parties de l'Europe à une bande mince et insignifiante.

M. Murchison confirme ce que M. Élie de Beaumont vient de dire quant à la direction de Longmynd et à la discordance de sa stratification avec le terrain silurien inférieur qui l'entoure , et

(1) Voyez *Philos. Magaz.*, juillet 1835.

se félicite de voir que dans les grands traits physiques si bien exposés par M. Élie de Beaumont on trouve la confirmation de ses opinions sur l'étendue qu'il donne à l'étage inférieur du système silurien.

M. de Verneuil communique l'extrait d'une lettre du professeur Forchhammer à sir Roderick Murchison, datée de Copenhague, le 1^{er} mai 1847.

« En fait de nouveautés géologiques dans notre coin du monde, je dois vous dire que les forages artésiens faits pour obtenir de l'eau de notre grès vert du système crétacé, aux environs de Copenhague, ont eu un succès complet. Il est maintenant démontré que les couches de grès vert et les bandes à cailloux associées (*gravel*), qui s'étendent à travers toute notre formation de craie, y peuvent être atteintes à une petite profondeur.

» Un seul forage de 4 pouces $1/2$ de diamètre et d'à peu près 66 pieds de profondeur nous a fourni, toutes les vingt-quatre heures, 16,000 barriques d'eau très pure; c'est environ $2/5$ de la quantité donnée par le puits de Grenelle.

» Nous ne trouvons pas cependant les mêmes résultats dans la ville même de Copenhague, où, à la profondeur de plus de 600 pieds, nous ne sommes pas tombés sur une seule couche de conglomérat lisse ou gravier, tandis que, d'après des observations sur l'inclinaison des couches, faites dans plusieurs forages aux environs, nous aurions dû trouver de telles couches à moins de 200 pieds. Ainsi il paraîtrait qu'il existe là une grande faille; et, justement à l'endroit où nous avions raison de la chercher, une section faite à cause du chemin de fer a fait voir quelques masses singulières d'argile à blocs (*boulder-clay*) qui sont loin de confirmer l'exactitude de mes idées sur l'origine de cette formation remarquable. »

M. Descloizeaux lit la communication suivante :

Note sur le gisement du spath d'Islande, par M. Descloizeaux.

La seule localité où l'on ait jusqu'ici rencontré du spath calcaire parfaitement pur, et en morceaux assez volumineux pour satisfaire à tous les besoins de l'optique, se trouve à l'entrée d'une petite baie nommée *Eskifjordur*; cette baie est la plus septentrionale des

deux branches par lesquelles se termine la grande baie de *Röðfjord*, ouverte à peu près au milieu de la côte orientale de l'Islande.

Sur la rive gauche d'*Eskifjordur*, à une très petite distance d'une habitation nommée *Helgastad*, descend vers la mer, dans un ravin de peu de profondeur, un très faible ruisseau auquel les habitants, frappés sans doute par l'éclat des morceaux de spath épars dans ses eaux, ont donné le nom de *Silfurlækir* (ruisseau d'argent).

C'est sur la paroi droite du petit ravin au fond duquel coule le *Silfurlækir*, et à 109 mètres au-dessus du niveau de la mer, que se trouve le gisement de spath d'Islande.

Dans la partie qui recèle ce minéral, le ravin offre les dimensions suivantes :

Profondeur,	5 ^m ,50
Largeur au fond ,	4 ,00
Largeur de l'ouverture ,	4 ,85

Ses parois, assez irrégulières, ont une inclinaison d'environ 45 mètres, et le fond du ravin suit une pente générale de 30°.

On reconnaît la présence du spath dans une étendue de 17^m,80 de longueur sur 4^m,20 de hauteur ; cet espace, limité à sa partie supérieure par la surface même du sol incliné dans lequel est creusé le ravin, est circonscrit dans ses autres parties par une roche noire, à pâte compacte, se divisant facilement en feuillets assez minces, et contenant de nombreux cristaux, très petits, de labrador. Le ruisseau qui coule sur cette roche baigne le pied de l'amas de spath.

La roche noire dont je viens de parler, désignée depuis longtemps sous le nom de vieux trapp, me paraît être plutôt un basalte à structure porphyroïde ; mais une étude approfondie, qui n'est pas encore terminée, pourra seule nous éclairer complètement sur sa nature ; c'est cette roche qui forme, sur les côtes E. et O. de l'Islande, deux larges bandes, à peu près parallèles, découpées par de nombreux fiords, souvent très profonds, et composées d'assises parallèles, inclinées de 7 à 8 degrés vers l'intérieur de l'île, et renfermant de nombreuses couches de wackes et d'amygdaloïdes plus ou moins altérées, dont les cavités sont tapissées de diverses zéolites.

Ce que j'ai dit plus haut montre donc déjà que le gisement du spath d'Islande constitue, au milieu d'une roche basaltique, une

très grosse amandé, de forme assez irrégulière, et dont une portion a été mise à nu par l'ouverture du ravin qui la contient.

L'étude de cette amande m'a fait voir que le spath qui la remplit s'y trouve sous deux formes bien différentes.

En effet, si l'on se place en face de la géode, sa partie supérieure, que l'on a alors à sa droite, et sa partie moyenne sont occupées par un énorme cristal de spath, adhérent aux parois solides par deux de ses faces, et offrant une largeur de 6 mètres sur une hauteur moyenne de 3 mètres. Ce bloc cristallisé, dont quelques travaux préparatoires m'ont permis de découvrir entièrement la face antérieure, se compose d'un spath translucide ou opaque, très fendillé, et rempli de lames hémitropes. L'ensemble de ce gros cristal, dont la forme générale est celle du rhomboèdre primitif du spath calcaire, est divisé en plusieurs autres cristaux moins volumineux par des croûtes plates, assez résistantes, de cristaux de stilbite fortement serrés les uns contre les autres; ces croûtes sont généralement très faiblement adhérentes à la surface du spath, dont une simple secousse suffit pour les détacher; quelques cristaux isolés de stilbite, disséminés çà et là, ont seuls pénétré de 1 ou 2 millimètres dans son épaisseur.

Au-dessous, et à gauche du gros cristal que je viens de décrire, se trouve la seconde partie du gisement. Elle se compose d'une masse d'argile brune en forme de coin, ayant 3 mètres de hauteur à son contact avec le bloc de spath, une largeur de 2 mètres, et 1 mètre seulement de hauteur, au point où se termine le gîte lui-même.

Cette argile recèle en assez grande quantité des cristaux complets de spath calcaire ou des fragments de cristaux, dont les dimensions, variant ordinairement de 4 à 15 centimètres, ne dépassent pas 20 à 25 centimètres de côté.

Les cristaux complets se composent des faces du rhomboèdre primitif, de celles du dodécaèdre métastatique de Haüy, et de celles d'un dodécaèdre très obtus, placé sur les arêtes du sommet de la forme primitive, et dont le signe cristallographique est *b* 4. Ses faces, qui appartiennent à un même solide, offrent un certain éclat un peu gras, constant, et particulier pour chacun des solides, et qui permet de les distinguer au premier coup d'œil, lors même qu'une extension irrégulière de quelques unes d'entre elles imprime au cristal complet une apparence peu symétrique.

Ces cristaux complets n'offrent en général qu'une faible transparence, et ils ne peuvent être, comme les morceaux extraits du grand cristal décrit plus haut, d'aucun usage pour l'optique.

C'est surtout parmi les fragments de cristaux qui montrent presque exclusivement les faces du rhomboèdre primitif et quelques unes du dodécaèdre métastatique que se rencontrent les échantillons les plus purs et les plus transparents. Leur cassure est alors vitreuse au plus haut degré, mais leurs faces sont presque toujours ternes ou plus ou moins profondément corrodées.

Sur ces cristaux isolés dans la masse d'argile se trouvent aussi assez souvent implantés des cristaux de *stilbite*; mais ceux-ci ne forment plus que très rarement des croûtes régulières, légèrement adhérentes à la surface du spath, comme cela arrive pour les rhomboèdres du gros bloc cristallisé; généralement la stilbite pénètre dans le spath, par l'une de ses extrémités, sur une épaisseur de 1 à 2 millimètres.

Les échantillons transparents d'un certain volume que l'on extrait ainsi de l'argile sont encore loin de pouvoir tous servir aux expériences d'optique. La plupart, comme le spath translucide du gros bloc cristallisé, sont traversés de lames hémitropes dirigées parallèlement aux arêtes culminantes du rhomboèdre primitif.

Ces lames, suivant le plan desquelles on parvient souvent à décoller deux portions d'un cristal, avaient été prises par Haüy pour des clivages supplémentaires. C'est le docteur Brewster qui le premier détermina leur nature et leur position par des expériences optiques et microscopiques.

L'épaisseur de ces lames est quelquefois assez considérable pour qu'il soit facile de mesurer l'angle que leur biseau fait avec la face du rhomboèdre qui les renferme, car j'en ai observé qui ont un demi-millimètre d'épaisseur; mais le plus souvent elles sont excessivement minces, et leur présence ne se révèle que par les fines stries produites par leur bord sur les faces du rhomboèdre, parallèlement à leur grande diagonale, et surtout par la multiplication des images colorées et la dislocation qu'on observe des anneaux développés par la lumière polarisée dans le spath qui les renferme. Ces derniers phénomènes, étudiés par le docteur Brewster, ont pu être reproduits artificiellement par ce savant physicien. On conçoit que les échantillons qui présentent de pareils effets de coloration soient tout à fait impropres à la construction des prismes de Nicol et autres appareils destinés à l'étude de la lumière polarisée; aussi, comme je l'ai dit dans ce Mémoire, les dimensions des échantillons bien purs, dont j'ai pu recueillir une assez grande quantité dans les deux visites que j'ai faites au gisement du spath, en 1845 et 1846, n'étant jamais très considérables, on doit regarder

comme très rares et ayant une grande valeur scientifique des échantillons parfaitement purs de 10 à 15 centimètres de côté.

J'ajouterai maintenant quelques mots sur l'origine probable du spath d'Islande.

On connaît, en Espagne, en Algérie et en Belgique, d'assez nombreux exemples de spath calcaire dans des filons d'origine évidemment éruptive. Un basalte colonnaire du Dattenberg, près Linz, sur les bords du Rhin, offre d'assez grandes géodes remplies de cristaux de spath qu'on ne peut guère attribuer à des infiltrations.

La disposition du gros bloc cristallisé, décrit au commencement de ce Mémoire, et qui se trouve enchâssé dans une immense géode ou boursoufflure, au milieu d'une roche basaltoïde, me porte à penser qu'il doit également son origine à une action éruptive, sans qu'il me soit possible, jusqu'à présent, de bien préciser quelle a dû être cette action. La température de fusion de cette roche basaltoïde ne peut être invoquée comme une objection à une telle formation du spath calcaire ; car des échantillons de cette roche, exposés par les soins de M. Salvétat dans les fours qui servent à porter la porcelaine de Sèvres au *dégourdi*, y ont parfaitement fondu ; et l'on sait que la température de ces fours est à peine suffisante pour transformer le calcaire en chaux caustique. La moindre pression dans les cavités du basalte fondu aurait donc suffi pour empêcher cette transformation.

Quant aux cristaux disséminés dans la masse argileuse, leur isolement complet, leurs faces, leurs arêtes parfaitement conservées montrent qu'ils n'ont pu être formés que là où ils existent aujourd'hui, et l'on peut croire qu'après le dépôt du gros bloc cristallisé, peut-être même après la dénudation partielle et la formation du ravin qui a mis la géode à découvert, des vapeurs aqueuses, chargées des éléments du calcaire et de la stilbite, seraient venues se condenser au milieu de l'argile remplissant la portion de cette géode restée vide, et y auraient déposé tranquillement les précieux échantillons qu'on en extrait depuis longues années.

M. Dufrénoy rappelle à la Société que, dans le mois de juillet 1846, un éboulement a eu lieu à neuf heures du soir sur le chemin de fer d'Orléans à Vierzon, presque au sortir de la première de ces villes. Par suite de cet éboulement, un déblai d'environ 1,300 mètres cubes a été enfoui ; les dimensions du

cône d'éboulement étaient de 21 mètres en travers du chemin, et de 11 dans le sens de l'axe. Cet accident a engagé l'administration générale des ponts et chaussées à faire explorer le sous-sol. Une commission composée de MM. Kermaingant et Vauvilliers, inspecteurs généraux des ponts et chaussées, et de M. Dufrénoy, a été nommée à cet effet. Les travaux d'exploration ont consisté d'abord en sondages exécutés dans la longueur de l'axe du chemin de 25 mètres en 25 mètres sur près de 2,000 mètres de long; vingt et un de ces sondages ont rencontré des cavités, quelques unes d'une faible hauteur, et par suite n'offrant aucun danger; deux avaient au contraire 6 mètres de hauteur, et deux autres recouvertes d'une faible épaisseur de terrain solide pouvaient donner quelque inquiétude pour la sûreté du chemin. L'administration les a fait effondrer et remplir par des moellons; les autres cavités ont été explorées au moyen de sondages très rapprochés, de manière à les circonscrire et à s'assurer de la solidité du sol; ces travaux ont constaté que ces cavités avaient généralement de faibles dimensions; que la plupart étaient en outre recouvertes d'une couche assez puissante de marnes ou de calcaires d'eau douce, en sorte qu'elles ne pouvaient donner lieu à des craintes sérieuses sur la sécurité de ce chemin; partout, du reste, où il pouvait y avoir quelque danger, des travaux de consolidation ont été faits.

Ces explorations offrent sous le rapport géologique un grand intérêt; on a reconnu que les cavités sont en général étroites dans le sens de l'axe; quelques unes le sont également en travers, et forment par conséquent des chambres irrégulières que l'on peut comparer, sous le rapport de la forme, aux masses irrégulières de meulières qui existent dans le calcaire d'eau douce de l'Orléanais. Les autres, étendues en travers, sont remplies d'eau qui paraît avoir un courant; ces cavités peuvent être réunies en deux groupes: le premier, assez rapproché de la Loire, constituerait un courant souterrain qui suivrait une corde de l'arc que la Loire forme entre Gien et Blois; le second groupe paraît se rattacher au cours souterrain du Loiret, qui serait également une dérivation de la Loire. On a rendu cette supposition certaine en jetant dans une des cavités de ce groupe, située sous le chemin, du sulfate de fer; l'eau du Loiret, qui

n'avait donné aucune trace de fer aux réactifs avant cette injection, en contenait au contraire notablement deux ou trois heures après.

Outre les cavités révélées par le sondage, on observe à la surface du sol des cônes évasés qui paraissent le résultat d'éboulements; plusieurs de ces cônes se sont formés à des époques assez récentes, et on en connaît l'origine; quelques unes sont assez larges, et forment maintenant des mares d'eau vive; le niveau de l'eau qu'elles contiennent suit les oscillations de la Loire, ce qui confirme encore l'existence des courants d'eau souterrains que l'on vient de citer. Les dimensions de deux des cônes sont assez considérables pour que l'eau qui s'en échappe lors des grandes crues de la Loire occasionne des dégâts notables; les propriétaires des terrains où ils sont situés ont même été obligés de les entourer d'une digue assez élevée pour éviter ces inondations locales.

Les cavités que l'on observe à la surface se groupent également suivant les deux courants qu'on vient de signaler; elles sont toutefois beaucoup plus nombreuses dans le voisinage du courant le plus rapproché de la Loire.

Le gouffre où le Dhuy se perd, près du château de la Source, est une de ces cavités naturelles; le niveau de l'eau y éprouve également des oscillations correspondantes aux crues de la Loire, en sorte que, dans les crues, le Dhuy, au lieu de se perdre dans le gouffre, se rend dans le Loiret, et que les eaux du gouffre se dégorgent même à la surface.

M. Achille Delesse lit le Mémoire suivant :

Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges, par M. Achille Delesse.

Les Vosges ont déjà été souvent l'objet de publications d'un grand nombre de géologues, et parmi les ouvrages les plus importants qui s'occupent de leur géognosie, on peut citer la topographie minéralogique de l'Alsace de Voltz, la statistique de la Haute-Saône de M. Thirria, plusieurs descriptions de MM. Hogard, Rozet, E. Puton et Fournet, enfin l'explication de la carte géologique de France par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont. Dans quelques mémoires particuliers, M. Élie de Beaumont, qui était plus spé-

cialement chargé de la géologie des Vosges, a depuis longtemps établi les grandes divisions entre les terrains qui les composent; en sorte qu'il ne reste, pour ainsi dire, à faire que des études de détail : mais, après quelques excursions dans ces montagnes, on ne tarde pas à reconnaître combien ces études sont nécessaires, car on rencontre une très grande variété de roches cristallines dans lesquelles le grain est indistinct et qu'il est le plus souvent impossible de classer, quelque habileté qu'on puisse d'ailleurs avoir à reconnaître les substances minérales. On arrive bien, avec de l'habitude, et par une série de comparaisons, à les rapprocher d'autres roches qui sont analogues et qui ont été rencontrées, soit dans les Vosges, soit dans diverses localités; mais comme jusqu'à présent les géologues ne se sont pas occupés d'études spéciales relatives à la *constitution minéralogique et chimique des roches*, la solution du problème n'est pas plus avancée, et ces roches ne cessent pas d'être complètement inconnues; on sait seulement qu'elles existent dans plusieurs contrées différentes.

Quand on se propose de faire l'étude géologique d'un pays dans lequel sont développés les terrains non stratifiés, ou ceux qu'on s'accorde généralement à regarder comme étant d'origine ignée, on est frappé par la grande diversité des roches qu'ils présentent ordinairement, même sur une petite étendue. Il est du reste facile de s'en rendre compte : car si les terrains stratifiés sont surtout développés dans les plaines, où une seule couche d'argile, de grès ou de calcaire couvre souvent des surfaces très considérables, en conservant le même caractère minéralogique, il en est rarement de même pour les terrains non stratifiés. Ces derniers, en effet, se trouvent principalement dans les régions montagneuses, c'est-à-dire qu'ils forment les parties de l'écorce terrestre qui ont été le plus tourmentées par des bouleversements. Depuis longtemps, du reste, les anciens mineurs avaient remarqué la grande diversité des roches des pays de montagnes dans lesquels ils recherchaient les filons et les minerais métalliques. — Dans les chaînes de montagnes, surtout lorsqu'elles sont d'origine ancienne, on retrouve la trace des divers phénomènes qui ont modifié l'écorce terrestre; on peut y observer un très grand nombre de systèmes de failles, de filons, et souvent, comme cela a lieu dans les Vosges, à peu près toute la série des roches d'origine ignée : les modifications qui ont été subies sont même quelquefois tellement nombreuses, que les divers terrains occupent seulement de très petites étendues et forment des lambeaux isolés qu'il ne devient possible de représenter que sur une carte géologique exé-

cutée à une très grande échelle. — Dans les pays de plaines, il en est tout autrement; une même couche se développe sur de grandes étendues, et, en même temps, elle dérobe, comme un voile, aux regards du géologue les phénomènes qui ont précédé son origine et souvent même ceux qui l'ont suivie. — Les terrains non stratifiés ou d'origine ignée se prêtent donc à des études de détail tout aussi bien que les terrains stratifiés ou d'origine aqueuse; on peut même dire que pour eux ces études sont indispensables, et quoique dans un grand nombre de cartes géologiques ils soient représentés par une teinte uniforme, l'observation apprend qu'ils présentent sur une petite étendue une *très grande diversité de roches* pour lesquelles il importe d'adopter de nombreuses subdivisions. — Ayant eu l'occasion de faire un grand nombre d'excursions dans les Vosges de la Haute-Saône, je m'étais proposé, d'après ce qui précède, d'en publier une carte géologique faisant connaître avec détail les terrains non stratifiés; mais je ne tardai pas à reconnaître que ce travail était impossible, tant que *je n'aurais pas, par une étude préliminaire, déterminé avec beaucoup de précision la composition minéralogique et chimique d'un certain nombre de roches pouvant servir de types.*

En effet, lorsqu'on vient à examiner ces roches sur le terrain, on ne tarde pas à reconnaître qu'il est très rare qu'elles présentent des lignes de démarcation bien nettes. Dans les terrains stratifiés, une couche de calcaire se sépare très nettement d'une couche d'argile ou de grès; il arrive bien quelquefois, par exemple, qu'elle devient de plus en plus marneuse et qu'elle passe insensiblement à une couche d'argile, mais c'est un cas exceptionnel et le plus ordinairement il y a une séparation bien tranchée. Pour les terrains non stratifiés, au contraire, et surtout pour ceux qui forment les montagnes des Vosges, il en est tout autrement; on peut observer des *passages* pour ainsi dire *insensibles* d'une roche à une autre, qui en diffère complètement par son âge et par sa composition minéralogique. Ces *passages*, qui ont été signalés depuis longtemps par MM. Hogard, Mougeot, Gaillardot et Rozet, sont rendus sensibles par le développement de certains minéraux qui caractérisent une roche, et surtout par celui des cristaux de feldspath, dans une autre roche contiguë qui ne les contient pas ordinairement; et ils sont si fréquents dans les Vosges, qu'il semble réellement que toutes les roches se transforment l'une en l'autre. J'aurai souvent l'occasion, par la suite, d'en citer un grand nombre d'exemples; mais je ferai remarquer dès à présent que le terrain de transition et l'un des porphyres qui

le traversent s'engagent et se foudent si intimement, que les auteurs de la carte géologique de France ont dû renoncer à les représenter par des teintes différentes. Presque partout, en effet, on voit le schiste passer au porphyre d'une manière tout à fait insensible. Du reste, ces *passages* ne s'observent pas seulement dans les Vosges; mais le phénomène qui les a produits a dû être *très général*, et ils ont été constatés depuis longtemps dans un grand nombre d'autres contrées parmi lesquels on peut surtout citer les Alpes (1), la Norvège et l'Écosse (2).

Indépendamment de ces passages que présentent les diverses roches des terrains non stratifiés, un plus grand obstacle s'oppose à ce qu'on arrive à les définir et à les classer facilement : c'est le peu de netteté des cristaux qu'on y observe et l'*insuffisance des caractères minéralogiques* qui, dans l'état actuel de la science, peuvent servir à les reconnaître. Car les minéraux qui composent les roches sont, il est vrai, presque toujours cristallisés, mais souvent la cristallisation est assez confuse; de plus, ils diffèrent ordinairement, par la forme, par l'aspect et par l'ensemble de leurs propriétés, des minéraux de choix sur lesquels se font les études minéralogiques. Ces derniers ne présentent guère que des cas particuliers qu'on a rarement l'occasion d'observer dans des études sur la minéralogie des roches; et si nos connaissances sur les roches sont en ce moment aussi peu étendues, on doit l'attribuer surtout à ce que leur minéralogie est encore, pour ainsi dire, dans l'enfance. Jusqu'à présent, en effet, les études des minéralogistes ont dû se porter principalement vers les minéraux qui sont nettement cristallisés et qui offrent de grandes variétés de forme; mais ce qui, au point de vue de la minéralogie pure et de la cristallographie, peut présenter de l'intérêt, devient quelquefois un cas exceptionnel peu important de la minéralogie des roches. — Il n'est pas étonnant, du reste, qu'un assez grand nombre de minéraux jouant un rôle important dans la composition des roches, et qui sont imparfaitement cristallisés, ne soient que peu ou point connus, car cela a même lieu pour ceux qui sont le plus répandus. Prenons, en effet, pour exemple la famille des feldspaths : sous le rapport de l'étude des roches, c'est incontestablement celle sur laquelle il importerait d'avoir les connaissances les plus précises. Toutes les roches qui forment les terrains non stratifiés ont toujours pour base un ou plusieurs feldspaths; par conséquent, les minéraux de

(1) De Saussure, *Voyage dans les Alpes*, t. III, § 1726.

(2) Lyell, *Principes de géologie*, p. 234 et 235 (Mac Culloch).

cette famille constituent la plus grande partie de l'écorce du globe, et on reste assurément au-dessous de la vérité quand on en évalue la proportion à 50 p. 0/0. Jusqu'à présent cependant cette famille si importante de minéraux est une des moins bien connues. Il faut observer, d'ailleurs, que son étude offre de très grandes difficultés, car les diverses espèces de feldspaths ne présentent que de très légères différences dans les caractères *minéralogiques* ; ils appartiennent tous aux deux derniers systèmes cristallins, et les angles de leurs formes primitives sont à peu près les mêmes. De plus, leurs propriétés chimiques sont presque identiques et leur composition est soumise à une loi commune ; ils renferment tous les mêmes radicaux basiques R et R' dans une proportion qui paraît être telle que le rapport des quantités d'oxygène est de 1 à 3, et les divers feldspaths ne sont que les différents degrés de saturation de ces radicaux par la silice. Ainsi il y a similitude à la fois dans leurs propriétés physiques et dans leurs propriétés chimiques. Si on ajoute à cela que les caractères *minéralogiques* qui servent à les classer sont en petit nombre et en outre très incertains, surtout lorsqu'ils sont engagés dans les roches, on concevra pourquoi il est si difficile de distinguer entre eux les différents feldspaths, quoiqu'ils appartiennent à une famille bien naturelle et que, dès le premier abord, il est facile de ne confondre avec aucun autre. Cependant pour que la description géologique d'une roche d'un terrain non stratifié soit complète, il me semble qu'il est absolument indispensable qu'elle fasse connaître la nature et la composition chimique de son feldspath et des autres minéraux qu'elle renferme ; car, de même que les *fossiles* définissent une roche *Neptunienne*, une roche *Plutonienne* peut être assurément caractérisée d'une manière non moins précise et non moins certaine par les *minéraux* qui la composent. Le mode de description qui est maintenant généralement employé me paraît être toutefois très vague, et même dans certains cas il est insuffisant. Le plus souvent, en effet, il est basé pour les feldspaths sur la différence de couleur qu'ils présentent ; on sait cependant qu'elle ne peut être que d'un faible secours pour arriver à la détermination de l'espèce minérale, la couleur étant une propriété très secondaire des minéraux et qui ne permet aucunement de les classer : il est incontestable d'un autre côté que la simple désignation de feldspath blanc ou rose, qui équivaut à celle de feldspath, est beaucoup plus vague et apprend beaucoup moins relativement à la nature et à l'âge d'un terrain non stratifié, que le mot d'*ammonite* n'en apprendrait re-

lativement à un terrain stratifié, car le feldspath est la base de toutes les roches *plutoniques* ayant quelque importance, et les *ammonites* ne se retrouvent que dans une partie des roches *neptuniennes*. Ainsi, d'un côté, les *passages* que présentent entre eux les terrains non stratifiés, et, de l'autre, l'*insuffisance* des caractères extérieurs dans l'état actuel de nos connaissances sur la minéralogie des roches, rendent leur étude et leur classification très difficile, et il m'a semblé que pour y arriver il était indispensable d'entreprendre une série de recherches *minéralogiques et chimiques* sur des roches destinées à servir de *types*, et qui, comme celles des Vosges, pourront toujours par la suite se retrouver facilement. — Avant d'entreprendre ces recherches, il fallait cependant se demander si elles seraient toujours *possibles* et, en outre, si elles seraient *utiles*. Il est facile de répondre à la première question, car le plus généralement les roches ont une texture cristalline, et par conséquent elles sont formées de minéraux distincts et nettement définis qui sont associés entre eux de diverses manières. Non seulement on peut y observer des minéraux disséminés dans une pâte, mais de plus cette pâte elle-même est cristalline et par conséquent formée d'une agrégation de minéraux simples; c'est ce qu'on constate facilement en l'examinant sous le microscope qui permet de distinguer les différents cristaux. Si, à l'œil nu, la texture cristalline est indiscernable, et si la couleur paraît simple, cela tient à ce que les minéraux sont tellement rapprochés, qu'à la vue la roche semble homogène; elle prend alors une couleur résultant des minéraux qui la composent et dépendant des proportions de chacun d'eux. C'est seulement dans des cas assez rares qu'une roche présente une pâte à cassure vitreuse dans laquelle sont engagés des cristaux définis; il est beaucoup plus rare encore de trouver des roches complètement vitreuses, sans aucun indice de cristallisation, et ressemblant aux scories de nos hauts-fourneaux. Les laves et les roches volcaniques nous en offrent cependant des exemples: ces roches, qui appartiennent à une époque géologique récente, paraissent avoir subi un refroidissement assez rapide, mais elles ne sont qu'une exception; on peut donc admettre en général que toutes les roches des terrains non stratifiés ont une *structure cristalline*. Lorsque les minéraux qui composent la roche seront visibles et nettement séparés, on arrivera facilement à les déterminer après les avoir isolés par un triage mécanique; ce travail est, il est vrai, très pénible, et il le sera d'autant plus que le grain de la roche cristalline sera lui-même plus fin. Quelquefois il faudra s'aider de la loupe ou recourir à un lavage à l'augette;

mais, quoi qu'il en soit, un triage plus ou moins parfait sera toujours possible : il cessera de l'être, quand la roche aura une texture cristalline très grenue, ou quand elle présentera l'aspect d'un verre ; mais, dans ce cas, on pourra toujours avoir recours à une analyse chimique immédiate. — Après avoir établi la *possibilité* de recherches de minéralogie chimique sur les roches, il ne nous sera pas difficile de démontrer leur *utilité*. Cependant pour la faire mieux apprécier, et aussi pour faire comprendre le but d'ensemble dans lequel ce mémoire a été entrepris, il me semble nécessaire de présenter d'abord quelques considérations théoriques sur le mode de formation des terrains *stratifiés* et *non stratifiés* ; mais, dans la suite, je m'abstiendrai autant que possible de toute hypothèse, et je me bornerai à l'étude des faits.

Formation des terrains stratifiés. — Les terrains *stratifiés* doivent leur origine à l'action des eaux, et si on excepte peut-être quelques roches de poudingue ayant de grandes épaisseurs et renfermant de très gros galets, ils ont été formés par voie de dépôt très lent, comme nous voyons maintenant encore des alluvions se déposer dans le fond des tourbières, des lacs, des fleuves et de la mer. Toutes les eaux qui se trouvent à la surface de la terre contiennent en dissolution du carbonate de chaux, de la silice et diverses substances ; l'action lente de l'évaporation maintient généralement leur volume à peu près constant, en sorte que l'arrivée d'une nouvelle quantité d'eau saturée et la perte de l'acide carbonique dissous doivent nécessairement déterminer sans cesse un dépôt analogue à un précipité *chimique* et qui est formé principalement de carbonate de chaux et de silice. Mais c'est plus généralement par un précipité que l'on pourrait appeler *mécanique* que paraissent s'être formées la plus grande partie des couches des terrains stratifiés. En effet, l'eau tient toujours en suspension une certaine quantité de matières argileuses et sableuses, et quand, par une cause quelconque, sa vitesse vient à se ralentir, ces matières obéissent à la loi de la pesanteur et se déposent. Ainsi les couches sédimentaires prennent naissance par précipitation chimique et mécanique ; mais, indépendamment de cela, la plus grande partie de la chaux tenue en dissolution est soustraite et fixée à l'état de carbonate par les mollusques et par les polypiers. A mesure que l'organisation animale se renouvelle, ce carbonate de chaux vient augmenter les deux précipités *chimique* et *mécanique* et contribuer aussi à la formation de la couche. — L'expérience apprend que la composition chimique de l'eau de mer et sa densité sont à peu près constantes sous toutes les latitudes ; on

conçoit donc qu'à une même époque géologique, elle a dû, toutes choses égales, contenir partout à peu près la même proportion de substances en *dissolution* ou en *suspension*, et par conséquent aussi le caractère minéralogique d'une couche déposée à une même époque doit être constant sur de grandes étendues; c'est en effet ce qui a été constaté par de nombreuses observations faites par tous les géologues dans des localités éloignées, non seulement en France, mais même en Europe. Cependant, ainsi que l'a fait observer depuis longtemps M. Constant Prévost (1), il y a diverses causes qui peuvent modifier et altérer le caractère minéralogique d'une couche; ce sont surtout celles qui font varier la nature des dépôts mécaniques, et je vais en énumérer quelques unes. — A de grandes distances des côtes et dans la haute mer, lorsque ses eaux ne sont pas agitées par des courants, une couche sédimentaire doit surtout se former par voie de précipité chimique; car les matières tenues en suspension ont déjà dû se déposer pour la plus grande partie, et, d'un autre côté, l'observation a appris que les mollusques et les polypiers habitent seulement les côtes ou les bas-fonds et se trouvent toujours à une profondeur qui est au plus de quelques centaines de mètres. Il résulte donc de là que dans la haute mer, toutes choses égales, une couche sera principalement formée par précipité chimique, tandis que près des côtes ce sera par un précipité mécanique, et aussi par les débris des mollusques et de polypiers et de tous les autres êtres qui vivent dans la mer. Il est facile de concevoir encore que la nature des parois ou du bassin dans lequel le dépôt s'opère doit exercer de l'influence sur son caractère minéralogique: ainsi la couche qui se forme au fond d'un lac entouré par un bassin granitique est différente de celle qui se produit dans un terrain stratifié et qui serait argileux ou calcaire; et la même différence se présente dans l'intérieur de la mer, sur une plus grande échelle: aussi les couches qui se déposent actuellement dans la Méditerranée, par exemple, ne doivent pas avoir la même composition, la même structure et le même caractère minéralogique que celles qui se forment au fond du grand Océan. — D'après ce que nous venons de voir, une mer intérieure pourra modifier la nature d'un dépôt; le voisinage d'une rivière ou d'un fleuve aura évidemment pour effet de produire le même résultat: mais ce sont surtout les courants de l'intérieur de la mer qui doivent à cet égard exercer la plus grande influence; en effet, ils entraînent avec eux des substances différentes de celles qui se

(1) Cours de la Sorbonne et diverses publications.

trouvent dans les eaux de la mer, qu'ils traversent sans se mêler avec elles, et ces substances changent nécessairement avec les terrains sur lesquels ils ont passé; de plus, suivant qu'ils sont animés d'une vitesse plus ou moins grande, ils tiennent en suspension des matières dont la grosseur et la quantité doivent varier, en sorte qu'ils donnent lieu à des dépôts très différents. — On voit donc que si les terrains stratifiés présentent quelquefois un caractère *minéralogique* constant sur de grandes étendues, il y a cependant beaucoup de causes qui peuvent le faire varier, même pour des roches qui ont été formées à la même époque géologique: quoiqu'il puisse très bien servir à classer les roches, surtout dans une même contrée, il est nécessaire, sur une plus grande échelle, d'étudier concurremment la continuité (1) et l'inclinaison des couches, ainsi que la direction suivant lesquelles elles ont été redressées, ou le caractère *stratigraphique*. Enfin, à ce deuxième caractère, il convient d'en joindre un troisième plus moderne, c'est le caractère *paléontologique* qui est fourni par l'étude approfondie des divers fossiles; son importance résulte, ce me semble, des considérations qui viennent d'être présentées, et elle a d'ailleurs été démontrée par les travaux les plus récents des paléontologistes, surtout par ceux de M. d'Orbigny; il a constaté en effet que des couches habitées autrefois par les mêmes mollusques, et que tout indique, par conséquent, avoir été formées à la même époque, présentent de très grandes différences dans leur composition minéralogique; ainsi, par exemple, telle couche à l'état de calcaire dans une localité passe dans une autre à l'état de grès, de marne ou d'argile. — D'un autre côté, on a observé aussi le fait inverse du précédent; c'est-à-dire que des couches qui diffèrent complètement par l'ensemble de leurs fossiles, et qui n'appartiennent pas à la même époque géologique, peuvent présenter le même caractère minéralogique. Il serait facile de citer de nombreux exemples à l'appui de ces deux faits, qui sont réciproques l'un de l'autre, et ils ont été mis hors de doute dans ces derniers temps, depuis que des géologues, parmi lesquels on peut citer surtout MM. d'Orbigny et de Verneuil, ont commencé à faire l'étude des terrains stratifiés sur de très grandes étendues et même dans les deux hémisphères. De ce qui précède, on doit donc conclure que des *terrains stratifiés de même âge peuvent avoir un caractère minéralogique différent*, et que réci-

(1) Dufrénoy et Élie de Beaumont, *Explication de la carte géologique de France*, p. 10.

proquement des *terrains stratifiés d'âge différent peuvent avoir le même caractère minéralogique.*

Formation des terrains non stratifiés. — Recherchons maintenant comment se sont formés les terrains non stratifiés, et nous reconnaitrons facilement qu'ils doivent présenter dans leur caractère minéralogique une constance au moins aussi grande que les terrains stratifiés. Si l'on admet en effet que la terre ait été d'abord à l'état fluide, comme cela paraît résulter de l'étude de tous les faits connus, soit en astronomie, soit en géologie, il faut observer que cette fluidité a dû être parfaite à cause de la forme même de la terre, qui est celle d'un sphéroïde très régulier; en outre, les couches à égale distance du centre avaient même densité, même composition chimique, et étaient complètement homogènes. Lorsque, par suite du refroidissement, la première écorce terrestre s'est solidifiée, elle a dû présenter une composition constante au moins sous la même latitude. Les observations géologiques les plus simples montrent que la matière fluide intérieure est venue réagir ensuite sur cette première enveloppe et la modifier de diverses manières, surtout par des épanchements: si on fait abstraction de toute idée théorique relativement à l'état de la matière épanchée et aux causes qui à différentes époques ont pu donner lieu à ces épanchements, que ces causes soient des phénomènes analogues à l'action volcanique, des affaissements ou des soulèvements, ou enfin des inversions de pôles (1), toujours est-il que la matière fluide épanchée à une même époque géologique a dû produire des roches formées des mêmes minéraux associés de la même manière; car, l'épaisseur de la partie solidifiée devant être à peu près partout la même, la partie fluide au contact était à la même distance du centre, et elle a dû avoir même densité, même température et même composition chimique; généralement elle s'est trouvée dans les mêmes circonstances de refroidissement à la surface du globe, par conséquent elle a dû former des roches dans lesquelles se sont développés des minéraux identiques. C'est du reste ce qu'on peut observer encore pour les laves des volcans modernes, qui, lors même qu'elles proviennent de points très éloignés, présentent, dans leur aspect et dans les minéraux qu'elles renferment, une assez grande similitude: cependant, ainsi que le fait observer M. de Humboldt (2), leur composition minéralogique varie avec la position du cratère, avec la nature des roches qui composent le

(1) De Bouchepon, *Études sur l'histoire de la terre.*

(2) *Cosmos*, t. I, p. 268.

volcan et avec sa chaleur intérieure ; et ce résultat est facile à concevoir ; car, dans les volcans modernes, la quantité de matières qui sortent à l'état fluide est le plus ordinairement insignifiante relativement à la roche qui forme les parois et la base du volcan ; cette dernière doit donc , en se dissolvant en partie, apporter des changements notables dans sa composition chimique. Mais en était-il de même dans les éruptions volcaniques anciennes ou dans les bouleversements qui ont amené autrefois la matière solide ou fluide de l'intérieur de la terre à la surface ? Non certainement ; car ces phénomènes ne sont pas locaux et n'ont pas affecté quelques points isolés , ainsi que cela a lieu pour les volcans ; ils se sont au contraire développés sur une grande échelle , et les roches épanchées occupent souvent de vastes étendues ; il en résulte que la dissolution des roches déjà solides dans celles qui arrivaient à l'état liquide ou pâteux , ou simplement incandescent , n'a généralement pas pu produire de différences notables dans leur composition chimique : on peut encore citer à l'appui de ce qui précède les nombreuses observations de M. de Humboldt (1), qui fait remarquer que, tandis que la faune et la flore varient avec la latitude et avec les climats, le granite, le gneiss, les divers porphyres, le trachyte, le basalte, la dolérite, etc., restent au contraire partout identiques. — Si d'ailleurs les roches des terrains non stratifiés ne paraissent pas toujours s'étendre sur d'aussi grandes surfaces que celles des terrains stratifiés, cela tient à ce qu'elles ont été recouvertes en grande partie par ces dernières, et à ce que dans les pays de montagnes, comme les Vosges, où l'on peut le plus généralement les observer, elles portent la trace d'un très grand nombre de bouleversements et ne se présentent souvent que comme des lambeaux de terrains. Du reste, on conçoit que, pour les terrains non stratifiés, diverses circonstances puissent faire varier aussi le caractère minéralogique de roches formées à une même époque géologique : nous avons parlé déjà de l'influence des parois solides, il faut mentionner encore la présence ou l'absence de l'eau de la mer dans les parties de la surface du globe où avait lieu l'épanchement de la matière fluide intérieure, les courants électriques, les affinités qui ont déterminé la cristallisation, la profondeur à laquelle elle s'est développée, la pénétration de substances gazeuses ou de substances solides entraînées par des vapeurs, et enfin tous les phénomènes variés qui peuvent se rattacher au *métamorphisme*. Le mode d'action de plu-

(1) *Cosmos*, p. 258.

sieurs de ces causes de modifications est par sa nature assez incertain ; on conçoit cependant que les affinités de cristallisation ont pu avoir pour effet de grouper les minéraux d'une manière bizarre, et il semblerait même, quand on examine certains granites ou syénites, que des fragments d'autres roches y sont contenus, c'est ce que j'aurai quelquefois l'occasion de signaler pour les Vosges ; cependant cela tient le plus ordinairement à ce que la cristallisation s'est développée d'une manière différente, à ce qu'elle a été tantôt plus nette, tantôt plus confuse, à ce que l'un des minéraux de la roche vient à disparaître ou à ce que l'autre est prédominant ; mais on ne doit pas en conclure que, dans les terrains non stratifiés, des roches de nature différente ont pu prendre naissance à une même époque géologique : il me semble qu'on pourrait comparer ces groupements à ceux qui ont donné lieu à la formation du silex dans les couches calcaires des terrains stratifiés ; en tout cas on peut observer que le facies minéralogique de la roche ne doit pas être considéré pour cela comme étant plus altéré que ne l'est celui d'une couche calcaire, par exemple, dans laquelle on trouve çà et là des rognons marneux ou des parties sableuses. — Quant aux autres modifications qui sont produites par ce que l'on appelle ordinairement le métamorphisme, il importe d'observer que ces dernières causes de modifications agissaient également sur les terrains non stratifiés et sur les terrains stratifiés ; et si les premiers ont pu éprouver de plus grandes modifications parce qu'ils se trouvaient à la base des formations, d'un autre côté, par leur masse compacte et impénétrable, ils devaient se prêter plus difficilement que les terrains stratifiés à des transformations ultérieures. Quelles que soient du reste les circonstances dans lesquelles s'est opérée la cristallisation des roches, quelles que soient les modifications qu'elles ont pu subir, soit pendant, soit après leur refroidissement, il n'est pas possible d'admettre qu'une même roche puisse donner, par exemple, tantôt un granite et tantôt un basalte : aussi, sans contester les effets que peut avoir sur le développement de la cristallisation la profondeur à laquelle se trouve la roche et la pression à laquelle elle est soumise, je ne saurais partager complètement les idées de M. Lyell (1), lorsqu'il pense que les roches cristallines, telles que le granite, le gneis, le micaschiste, le quartzite, etc., peuvent, à l'aide d'une pression suffisante, se produire encore pendant l'époque actuelle ; d'après ce qui a été dit précédemment,

(1) Lyell, *Principes de géologie*. Traduction de madame Meulien, t. I, p. 438, 8 premières lignes ; et Lyell, *Nouveaux éléments*.

Soc. géol., 2^e série, tome IV.

en effet , et sauf les restrictions qui ont été admises , il est assez naturel de penser que les laves et les roches volcaniques modernes représentent la composition de la partie fluide au contact de la croûte intérieure déjà solidifiée ; et , dans la suite de ce Mémoire , je démontrerai par des analyses nombreuses qu'elles sont beaucoup plus pauvres en silice , et qu'aux différences de cristallisation qu'elles présentent avec les roches granitoïdes correspondent encore des différences dans la composition chimique. — Ainsi les roches d'origine ignée qui ont été formées à une même époque géologique , peuvent bien présenter des passages à d'autres roches qui en diffèrent par l'âge et par la composition chimique et minéralogique ; elles peuvent aussi avoir éprouvé des altérations dans quelques parties , mais ces altérations sont accidentelles , locales , et elles ne changent pas l'ensemble de la formation ; enfin elles sont absolument du même ordre que celles qu'on observe dans le caractère minéralogique des terrains d'origine aqueuse. Comme résumé de ce que je viens d'exposer , il me semble donc qu'il y a lieu d'établir pour les terrains *non stratifiés* le principe suivant : *Le plus généralement les roches de même âge ont même composition chimique et minéralogique , et réciproquement : des roches ayant même composition chimique et formées de minéraux identiques associés de la même manière sont du même âge.* Pour les terrains *stratifiés* , la première partie du principe peut encore jusqu'à un certain point être considérée comme vraie , mais il n'en est pas de même de la réciproque. Il importe d'observer du reste que les progrès ultérieurs de la géologie donneront une démonstration *expérimentale* de ces principes ; ainsi , pour les terrains non stratifiés , par exemple , l'étude du caractère minéralogique et chimique dans des roches dont l'identité d'âge aura été constatée d'une manière certaine , en faisant connaître les exceptions nombreuses qui peuvent se présenter , viendra rectifier ce que l'énoncé pourrait avoir de trop absolu.

De la classification des roches des terrains non stratifiés. — Plusieurs géologues ont proposé divers systèmes de classification pour les roches des terrains non stratifiés , et d'après ces systèmes le caractère minéralogique , qui est du premier ordre , a été généralement pris pour base de la classification ; quelquefois cependant ils ont eu recours au caractère assez secondaire de la structure (1), et en tout cas il me semble qu'on a le plus souvent attaché une importance trop grande aux caractères physiques extérieurs , sans

(1) Linné , de Léonhard.

tenir compte, pour ainsi dire, de la composition chimique. Il suffit, pour s'en convaincre, de rappeler les noms qu'ont reçus quelques roches : le mot *gneiss* désigne une structure rubannée, particulière dans les roches granitiques ; *porphyre*, qui vient du mot grec *πορφύρα*, et qui signifie rouge, avait d'abord été employé pour désigner le porphyre rouge antique, et depuis, par généralisation, les géologues s'en sont servis pour désigner toutes les roches à base de feldspath qui renferment des cristaux isolés dans leur pâte ; mais dire d'une roche que c'est un *gneiss* ou un *porphyre*, c'est indiquer seulement un mode particulier de structure qui peut lui être commun avec un grand nombre d'autres qui en diffèrent cependant complètement par leur âge ainsi que par leur composition minéralogique et chimique. Il serait facile de multiplier ces exemples : ainsi les roches qu'on désigne sous le nom d'*ophites*, de *variolites*, d'*amygdaloïdes* et de *spilites*, ont seulement une propriété physique commune, celle de présenter des *taches*, des *noyaux* et des *cellules* ; mais elle ne suffit pas pour les faire connaître et pour les définir. Quelquefois les roches sont désignées d'après une propriété tout à fait secondaire et encore moins importante que les précédentes, comme, par exemple, d'après l'aspect ou la couleur ; alors, la plupart du temps, leurs noms ont été empruntés au vocabulaire des mineurs allemands ; ainsi *Hornstein*, *Pechstein*, *Grunstein*, s'appliquent à une catégorie de roches si nombreuse et si variée, que cette première indication n'apprend pour ainsi dire rien, relativement à la nature de celle qu'on examine : enfin les dénominations d'*eurite*, de *trapp*, sont en quelque sorte négatives, et on doit plutôt les considérer comme un aveu de l'ignorance où l'on se trouve relativement à la nature de la roche, que comme une véritable qualification : quoiqu'on ait cherché à y attacher un sens précis, elles servent en réalité dans les descriptions géologiques à désigner toutes les roches grenues dont la classification présente quelque difficulté.

Nécessité d'étudier l'ensemble des caractères. — On voit, d'après ce qui précède, que les roches ont été le plus souvent classées et dénommées d'après leur structure, leur aspect, leur couleur ; en un mot, d'après des propriétés physiques très secondaires et communes à un grand nombre de roches qui diffèrent, tant par l'âge que par leur composition minéralogique et chimique : ces propriétés, qui sont saillantes et qui frappent tout d'abord les yeux, ont dû attirer l'attention dans l'origine de la géologie ; mais si, à cette époque, elles ont pu suffire jusqu'à un certain point pour établir quelques divisions générales, il n'en est plus de même ac-

tuellement : ce n'est pas en effet d'après quelques propriétés isolées, surtout lorsqu'elles sont aussi secondaires que cela a lieu pour plusieurs des exemples que je viens de citer, qu'on peut espérer de classer les roches ; de même qu'en zoologie et qu'en botanique, il est indispensable, ainsi que l'a fait M. Cordier, d'étudier à la fois leurs caractères *physiques*, *chimiques* et *géologiques*, afin d'arriver à une classification *naturelle* ; parmi ces caractères, on attachera, du reste, une importance toute spéciale à ceux qui résultent de la composition *minéralogique* et *chimique* que l'on peut appeler caractères du premier ordre ou *dominateurs*. — Si nous examinons d'abord le caractère *minéralogique*, son importance est évidente ; ne résulte-t-elle pas en effet des considérations qui ont été présentées antérieurement ? On peut, du reste, très bien le comparer au caractère paléontologique des terrains stratifiés ; il y a cette différence cependant que les *minéraux* définissent les terrains non stratifiés d'une manière incomparablement plus précise que les fossiles ne sauraient le faire pour les terrains stratifiés ; car autant les produits du règne animal sont variés, autant ceux du règne minéral sont simples ; ainsi, tandis que les fossiles sont toujours en nombre presque indéfini et que c'est seulement, pour ainsi dire, d'après l'étude d'une faune entière qu'on peut comparer les diverses couches, les minéraux qui caractérisent une formation et qui la distinguent nettement de toutes les autres sont au contraire en très petit nombre. — Il faut reconnaître toutefois que les minéraux sont souvent microscopiques et cristallisés d'une manière confuse ; de plus, ainsi que je l'ai déjà fait observer antérieurement, le peu de connaissances qu'on possède, dans l'état actuel de la science, sur les minéraux des roches, et en particulier sur ceux de la famille des feldspaths, contribue encore à rendre le caractère minéralogique insuffisant. Pour des minéraux parfaitement cristallisés, une classification basée sur les caractères extérieurs serait possible jusqu'à un certain point ; c'est ce que prétendait faire Haüy, et quoiqu'il fût porté à attacher une importance en quelque sorte exagérée au caractère minéralogique, il reconnut la nécessité d'avoir recours aussi au caractère *chimique*. Pour les roches dont la classification présente de bien plus grandes difficultés, il est donc absolument indispensable d'avoir égard à la fois au caractère *minéralogique* et *chimique*. Jusqu'à présent, cependant, on n'a fait qu'un très petit nombre d'analyses de roches, et, à part quelques connaissances générales, on possède peu de données sur leur composition chimique, ainsi que sur les différences qu'elles présentent, quand on passe d'une variété à une

autre : il est donc facile de concevoir combien ont été nombreux les obstacles contre lesquels ont eu à lutter les géologues qui se sont proposé une classification générale des roches (1). Dans l'état actuel de la science, et à cause du peu d'étendue de nos connaissances sur deux caractères *dominateurs* et les plus importants des roches, le caractère *minéralogique* et *chimique*, une *classification naturelle* de toutes les espèces me semble bien difficile, ou, pour mieux dire, impossible, et elle ne deviendra possible, comme l'a fait observer M. Beudant (2), qu'autant qu'on pourra l'appuyer sur un nombre suffisant de travaux de minéralogie chimique coordonnés avec des observations géologiques. — On conçoit donc que des études de ce genre doivent présenter le plus haut intérêt, et, indépendamment du but qu'elles se proposent, elles auront aussi pour effet de compléter la série des composés qu'on connaît en minéralogie, et d'appeler l'attention sur des substances minérales nouvelles ou sur des variétés qui auraient échappé à l'étude ; c'est en effet ce que j'aurai l'occasion de faire observer plusieurs fois dans la suite de ce mémoire. Par ce qui précède, je crois avoir surabondamment démontré l'utilité de recherches de *minéralogie chimique*, entreprises en même temps que des études *géologiques* sur toute la série des roches non statifiées ; il reste à cet égard à remplir une grande lacune de la science. Dans ces derniers temps, du reste, on a compris toute l'importance des travaux de ce genre ; ainsi, M. G. Rose a fait connaître d'une manière complète les propriétés minéralogiques des roches recueillies dans ses voyages et les analyses d'un très grand nombre de feldspaths ont été exécutées sous sa direction. MM. Berthier, C. Gmelin, Abich, Swanberg, Kersten, Forchhammer, Wolf, Ch. Deville, etc., se sont également occupés de l'examen chimique de roches, et principalement de roches basaltiques ou volcaniques ; toutefois jusqu'à présent on ne possède qu'un assez petit nombre d'analyses de roches, et il serait assurément difficile d'en réunir une vingtaine. On conçoit du reste qu'il est nécessaire que ces recherches de minéralogie chimique soient exécutées sur des roches vues en place dans des localités bien déterminées, car une collection géologique, quelque complète qu'elle fût, serait loin

(1) Parmi les ouvrages les plus importants publiés dans ces derniers temps, sur la classification des roches, on peut citer ceux de MM. Cordier, Dufrénoy et E. de Beaumont, A. Brongniart, de Léonhard, d'Omalius d'Halloy, Walchner, Dumont, Rivière, Boué, Burat, etc.

(2) Sur la discussion des analyses minérales. Tome VIII des *Mémoires de l'Institut*.

de pouvoir suffire ; le chimiste géologue doit donc étudier lui-même sur le terrain la roche analysée ainsi que les variétés minéralogiques qu'elle présente ; il doit la suivre dans ses passages successifs ainsi que dans ses dégradations ; enfin il doit examiner aussi son gisement. Guidé par ces considérations, j'ai pensé que la partie sud des montagnes des Vosges qui renferme une série nombreuse de roches d'origine ignée devait offrir, plus que tout autre groupe montagneux, un très grand intérêt pour des recherches entreprises dans le but que je viens d'indiquer ; car indépendamment de ce que ces roches sont très variées, elles sont connues pour la plus grande partie par les géologues, soit parce que plusieurs d'entre elles ont été envoyées dans les collections ou employées comme objets d'ornement dans des monuments publics, soit parce qu'elles ont été décrites dans un grand nombre de publications, et on peut même dire à cet égard qu'elles sont devenues en quelque sorte *classiques* en géologie par les descriptions qui en ont été données et surtout par celles de M. Élie de Beaumont.

Je vais maintenant faire connaître d'une manière sommaire la *marche* générale qui a été *suivie* dans les recherches de minéralogie chimique dont le but vient d'être exposé. Je ne me suis pas attaché à étudier ces roches dans un ordre déterminé, par exemple d'après leur ordre d'ancienneté, car les données qu'on possède jusqu'à présent sur les roches des Vosges sont assez vagues, et la suite de ce travail contribuera sans doute à jeter du jour sur cette question en permettant de les rapprocher de roches dont l'âge est connu par leur gisement dans d'autres pays. Si on considère, par exemple, les porphyres des Vosges en particulier, on reconnaît facilement qu'il y en a plusieurs espèces différentes qui percent le terrain de transition et qui le relèvent ; les uns peuvent donc lui être contemporains, les autres postérieurs ; mais quels sont les termes de la série des roches stratifiées entre lesquelles ils ont apparu ? c'est un problème dont l'étude des Vosges ne me semble pas donner toujours la solution : toutefois la nature minéralogique et la composition chimique de ces porphyres étant connue et bien définie, il sera possible de les retrouver dans d'autres chaînes de montagnes dans des relations qui détermineront leur âge. Comme plusieurs roches des Vosges ont reçu, des divers géologues qui se sont occupés de leur étude, des noms différents ou même contradictoires, autant que possible je les désignerai par la localité dans laquelle elles présentent le type le plus remarquable ; je ferai connaître en regard leur synonymie. Pour faire l'étude d'une roche, j'en ai recueilli moi-même une série

d'échantillons qui ont été pris sur divers points de la chaîne des Vosges, et je me suis attaché d'abord à l'examen des *types* les mieux définis dans lesquels les cristaux étaient nettement séparés, et qui ne présentaient pas de *passages* aux roches environnantes; puis j'ai étudié la roche dans ses diverses dégradations, et enfin lorsqu'elle prenait une texture grenue : il est très avantageux pour ces recherches minéralogiques, ainsi que l'a signalé M. Brongniart, d'avoir recours à la calcination, ce qui, en apportant une différence tranchée dans la couleur des minéraux constitutants, permet de les reconnaître souvent plus facilement (1). Quand les cristaux étaient distincts, j'ai séparé successivement ceux des minéraux qui entraient dans la composition de la roche, en la brisant, et en faisant avec beaucoup de soin un triage mécanique à la loupe et au besoin à l'aide de l'augette, ainsi que je l'ai déjà indiqué précédemment, et d'après la méthode proposée par MM. Cordier et Berthier : lorsque la pâte avait une texture cristalline non discernable à la vue, je l'ai examinée aussi sous le microscope, afin de reconnaître le nombre et, autant que possible, la nature des minéraux qui la composaient. Après avoir opéré ce triage, chaque substance minérale était décrite et étudiée séparément, tant sous le rapport de ses propriétés *physiques* que de ses propriétés *chimiques* : pour cela, je déterminais sa densité et ses formes cristallines les plus habituelles dans la roche; puis j'examinais ses propriétés au chalumeau, et je terminais l'ensemble de ces recherches par son *analyse chimique*. La composition des minéraux isolés était ensuite comparée à celle de la pâte de la roche elle-même ou à celle de la roche à l'état de grenu, afin de rechercher quelle pouvait être la nature et la proportion des minéraux qui la composaient; dans certains cas, la comparaison de la densité de la roche avec celle de ses minéraux permettait d'arriver aux mêmes résultats. Telle est la marche qui a été suivie dans l'examen des diverses roches des Vosges. Pour compléter cette étude, je ferai connaître successivement, à mesure que l'occasion s'en présentera, les dégradations et les passages de ces roches les unes aux autres : je signalerai enfin les diverses localités dans lesquelles elles ont été observées, ainsi que les principaux faits relatifs à leur gisement. Si les recherches dont je viens de tracer le plan n'avaient qu'un intérêt local et servaient seulement de base à une classification des roches des Vosges, il n'aurait peut-être pas été bien utile d'y consacrer tout le temps et tous les soins que réclament les travaux de

(1) Brongniart, *Dict. d'hist. nat.*, t. XLVI, p. 28.

ce genre ; mais il est facile de concevoir que ces recherches ont une plus haute portée , car comme les Vosges présentent une très grande variété de roches non stratifiées qui ont été rencontrées pour la plus grande partie dans d'autres chaînes de montagnes , il deviendra facile de généraliser les résultats qui auront été obtenus. Du reste , afin d'atteindre ce but , je ferai suivre l'étude de chaque roche des Vosges de l'énumération des principales roches connues qui peuvent en être rapprochées , et quand leur identité ne sera pas parfaite et ne résultera pas immédiatement du caractère minéralogique , j'aurai au besoin recours à l'analyse chimique. Les nombreuses collections du Jardin du roi renferment des matériaux très riches que j'ai eu souvent l'occasion d'étudier ; et je dois à la bienveillance de MM. Cordier et Brongniart, Rivière et Charles d'Orbigny , la communication de quelques échantillons qui m'ont permis de généraliser ce travail en comparant les résultats obtenus pour les roches des Vosges à ceux des roches provenant des localités les plus diverses. — Je terminerai ce mémoire par un essai de classification et de nomenclature des roches des Vosges , basé sur l'ensemble de leurs caractères, et principalement sur le caractère minéralogique et chimique. Enfin , j'y joindrai par la suite une carte géologique détaillée , faisant connaître les relations de position de ces roches dans les principales localités où je les aurai étudiées , et surtout dans le département de la Haute-Saône.

Porphyre de Belfahy.

Cette roche, qui a la structure porphyrique la mieux caractérisée, a été désignée par MM. Voltz, Thirria, Cordier et Brongniart, sous le nom d'Ophite (1), par M. Elie de Beaumont sous celui de Mélaphyre (2), et elle appartiendrait au porphyre augitique de MM. Léopold de Buch et G. Rose : elle forme la plus grande partie de la montagne sur laquelle est bâti le village de Belfahy ; on la retrouve au Puix, à Giromagny, à Bitschwiller, à Horben (3) ; et elle présente un très grand nombre de variétés sur plusieurs points de la chaîne des Vosges. Comme ces variétés sont produites tantôt par la disparition, tantôt par la prédominance des minéraux qui composent la roche, ou même seulement par

(1) Voltz, *Géognosie des deux départements du Rhin*, p. 53. — Thirria, *Statistique de la Haute-Saône*, p. 364.

(2) *Explication de la carte géologique de France*.

(3) *Id.*, p. 367.

leurs différentes manières d'être, il est indispensable de s'occuper d'abord de l'étude de ces minéraux. Je commencerai donc par le feldspath, qui est incontestablement, et de beaucoup, celui dont la connaissance est la plus importante.

Feldspath. — Les cristaux de feldspath qui donnent à la roche sa structure porphyrique sont blancs ou blancs-verdâtres. Dans la partie du ballon sur laquelle se trouve le village de Belfahy, ils ont une légère teinte verte; leurs arêtes sont vives, et par leur couleur ils se distinguent nettement de la pâte. Ils ont généralement 1 à 2 centimètres de longueur et quelques millimètres de largeur. Dans plusieurs variétés, qu'on trouve surtout au Puix, ils sont plus nombreux, mais en même temps ils sont beaucoup plus petits. Quant à la pâte de la roche, elle a une couleur qui varie du vert clair jusqu'au vert foncé et au vert noirâtre; quelquefois elle est mêlée de tons violacés, et, dans quelques cas plus rares, elle a une teinte violacée uniforme. La séparation du feldspath et de la matière qui forme la pâte n'est pas toujours aussi nette qu'à Belfahy et qu'au Puix; alors le feldspath prend une teinte verte plus prononcée, qui est due, comme l'apprend l'examen sous le microscope, à ce que le minéral qui colore la pâte s'est formé aussi en petite quantité dans le feldspath lui-même pendant qu'il cristallisait. A la Grève, près de Mielin, par exemple, les cristaux de feldspath ont une couleur verte aussi foncée que la pâte, et même on ne peut les distinguer que quand ils ont pris une teinte blanchâtre par l'exposition à l'air. — Il arrive quelquefois qu'on rencontre aux environs de Belfahy, et surtout à l'état de bloc roulé dans le Rahin, une variété de la roche dans laquelle les cristaux de feldspath présentent une couleur rose ou rouge de chair. J'avais d'abord pensé que ce dernier feldspath était différent du premier, car il a une densité qui est plus faible; mais je ne tardai pas à reconnaître qu'il a des formes cristallines identiques et que ce changement de couleur est produit simplement par une altération atmosphérique. Cette altération, due à l'action de l'air et de l'eau, a sans doute pour effet de modifier l'état de combinaison de l'oxyde de fer qui entre dans le feldspath, et, quelle que soit la manière dont elle s'opère, on peut facilement la constater, car, en montant du village vers le ballon de Belfahy, j'ai rencontré des cristaux de feldspath qui étaient roses dans la partie de la roche exposée à l'action de l'air atmosphérique, mais qui avaient conservé la couleur blanche verdâtre à l'intérieur de la roche; de plus, on pouvait observer dans un même cristal un passage insensible du rose au blanc. Il paraîtrait donc, d'après cela,

que l'apparition de la couleur rose est le premier effet de la déposition de ce feldspath et de sa transformation en kaolin; elle indique que l'oxyde de fer commence à se dégager de la combinaison. Lorsque ensuite il est entraîné ou bien dissous par des acides organiques (1), le feldspath passe à une couleur blanche un peu mate, il perd de sa dureté et il prend une consistance farineuse. Pour le porphyre de Belfahy, dont le feldspath est du labrador, cette décomposition ne s'exerce presque pas sur la pâte, elle est même *très superficielle*, et elle ne s'opère pas dans toute la roche et sur *une grande échelle* comme cela a lieu pour l'orthose de certains granites ainsi que pour la pegmatite.

On a trouvé pour la densité du feldspath extrait de la roche (2) :

<i>a</i> — Variété d'un blanc de lait légèrement verdâtre et compacte.	2,733
<i>b</i> — Variété d'un blanc légèrement verdâtre et lamelleuse.	2,706
<i>c</i> — Variété d'un blanc verdâtre, un peu altérée.	2,694
<i>d</i> — Variété altérée rose.	2,670
La moyenne entre les densités <i>a</i> et <i>b</i> donne pour le feldspath du porphyre de Belfahy.	2,719

Cette densité est celle du labrador.

On voit, d'après les variétés *c* et *d*, que l'altération due à l'action de l'air et de l'eau a pour effet de diminuer la densité du feldspath. La diminution est d'environ 0,049 dans la variété rose; cependant il est encore à l'état cristallin, mais il se laisse cliver avec plus de facilité. Je n'ai pas pu réunir assez de kaolin, provenant de la décomposition de ce feldspath labrador, pour en déterminer la densité; mais, d'après l'état pulvérulent que prend la matière, la densité doit encore aller en diminuant à mesure que la décomposition s'avance; on a d'ailleurs pour la densité du kaolin de l'orthose environ 2,200, et si on supposait que celle du kaolin provenant du labrador est la même, on voit qu'on aurait une diminution très notable dans la densité, puisqu'elle serait d'environ 0,4. Par la calcination sa densité devient plus petite, car elle est de 2,600; on a donc perte = 4,38 p. 100.

Dureté. — La dureté de ce feldspath est un peu inférieure à

(1) *Bulletin de la Société géologique*, année 1846. Mémoire de M. Daubrée.

(2) Pour la détermination de ces densités, ainsi que pour celle d'un grand nombre de roches, j'ai été aidé avec beaucoup de zèle par M. Paufert, garde-mines à Vesoul.

celle de l'adulaire du Saint-Gothard et à celle du labrador du Groënland ; elle est donc un peu plus petite que 6.

Forme. — L'examen des cristaux de feldspath du porphyre montre d'abord qu'ils ne sont pas orientés suivant une direction déterminée, mais qu'ils sont dirigés indifféremment dans tous les sens, comme, de plus, ils sont beaucoup plus longs que larges ; dans la cassure d'un échantillon, ils doivent, toutes choses égales, présenter le plus généralement une forme allongée, ce qui contribue surtout à donner à la roche une structure porphyrique bien caractérisée ; on reconnaît aussi que les cristaux isolés dans la pâte ne sont pas simples, mais qu'ils sont formés par les macles et par le groupement d'un assez grand nombre de cristaux. Il est facile de constater sur les fragments isolés du feldspath qu'il appartient au système *triklinoédrique* (1) ; on a un clivage facile suivant la face oP et un autre assez facile suivant $\infty \bar{P} \infty$: c'est suivant cette dernière face que les cristaux sont allongés ; en outre, on peut observer, parallèlement à son intersection avec oP , une série de stries parallèles très fines, qui sont quelquefois très rapprochées et ne peuvent être bien distinguées qu'à la loupe ; elles indiquent une macle formée comme celle de l'albite ; l'axe de rotation est la ligne menée dans le plan de la base, normalement à la petite diagonale ; la face d'*assemblage* est la base elle-même. Des mesures faites avec le goniomètre d'application ont donné à peu près oP . $\infty \bar{P} \infty = 85^{\circ} 30$, ce qui est l'angle du labrador ; l'angle rentrant produit par la macle est donc environ de 171° . Suivant $\infty P \infty$, on ne voit pas le chatolement qui s'observe généralement dans les cristaux de labrador. Il est très rare de trouver des cristaux simples ; ils sont ordinairement formés par l'agglomération d'une série de cristaux macclés et réunis en groupes. Ces groupes offrent le plus souvent la disposition de bandes parallèles, ou bien ils divergent d'un centre dans toutes les directions ; plus rarement enfin ils s'entre-croisent d'une manière capricieuse et qui n'est soumise à aucune loi. Du reste, les cristaux qui forment ces groupes sont généralement sans modifications et affectent surtout la forme parallélipédique oP . $\infty \bar{P} \infty : \infty P \infty$, ou bien une forme hexagonale comme celle qui est habituelle à l'orthose. Il en résulte que, dans la cassure, toutes les figures que présentent les cristaux sont les

(1) Pour l'étude cristallographique des minéraux, j'ai le plus souvent employé les notations et la méthode de M. le professeur Naumann, de Leipsick.

sections de parallépipèdes par des plans et s'obtiennent en disposant des parallélogrammes de diverses manières.

Chalumeau. — Au chalumeau, il fond, quoique assez difficilement, en un verre blanc translucide et un peu bulleux ; la variété rose redevient d'abord blanche, puis elle fond comme la première : la variété d'un blanc verdâtre prend, avant de se fondre, une légère teinte jaune. Il est plus facilement fusible que le labrador chatoyant et type de Finlande ou du Groëland. Dans le tube fermé, il donne de l'eau. Avec le borax, il se dissout aisément et la perle est parfaitement transparente. Avec le sel de phosphore, on a une perle jaune à chaud, incolore par refroidissement, dans laquelle nagent des squelettes de silice. Avec le carbonate de soude, la dissolution n'est pas complète ; des squelettes gonflés restent dans la perle : sur la feuille de platine, une coloration verte indique la présence d'un peu de manganèse. Le nitrate de cobalt ne donne rien.

Analyse. — Le feldspath s'attaque même à froid par l'acide hydrochlorique très concentré, lorsqu'il a été préalablement réduit en poudre par la porphyrisation ; la silice reste alors à l'état grenu, mais elle se gonfle un peu. Cela peut fournir, comme on l'indique dans les traités de minéralogie, un moyen de distinguer le labrador des autres feldspaths qui ne sont pas attaquables ; car, bien que l'alumine reste pour la plus grande partie dans le résidu, on dissout assez facilement les autres bases, et, après l'évaporation à sec, il y a plus du tiers de la matière dans la liqueur. Toutefois, l'attaque complète du minéral par l'acide chlorhydrique est très difficile : elle aurait lieu plus facilement par l'acide sulfurique ; mais, pour l'analyse quantitative, il m'a semblé préférable et moins long d'avoir recours au carbonate de soude et à l'acide fluorhydrique. La marche suivie dans ces opérations a été celle qui est indiquée dans les traités d'analyse chimique les plus récents, et surtout dans celui de M. Rose. J'ai opéré sur 1³,2, et je me suis conformé à toutes les précautions et vérifications prescrites ; j'ai recherché avec soin les alcalis qui ont été dosés à l'état de sulfate de carbonate et de chlorure. Sans entrer communément dans le détail des opérations, ce qui pourrait nuire aux études minéralogiques et géologiques que je me suis proposées dans ce mémoire, je vais faire connaître de suite les résultats obtenus, et dorénavant je procéderai toujours ainsi, à moins de circonstances particulières.

	$\frac{g}{1,2-C.N.A.}$	$\frac{g}{1,2-C.N.A.}$	$\frac{g}{2.Fl. h.}$	Moyenne.	Oxygène.	Rapport.
Silice.	52,79	52,99	»	52,89	27,480	6
Alumine.	»	27,14	27,64	27,39	12,801	13,182 3
Peroxyde de fer.	»	4,24	4,24	4,24	0,381	
Oxyde mangan.	»	0,30	»	0,30	0,067	
Chaux.	»	6,01	5,77	5,89	1,654	
Magnésie.	trace	»	»	»	»	4,525 4
Soude.	»	»	5,29	5,29	1,353	
Potasse.	»	»	4,58	4,58	0,776	
Eau.	»	2,28	»	2,28 $\frac{1}{5}$	2,027	
				<u>99,86</u>		

Dans les premières analyses que j'ai faites de ce feldspath, j'ai toujours obtenu une perte de plusieurs centièmes, de laquelle il m'était impossible de me rendre compte; j'eus alors l'idée de le calciner, et je reconnus avec étonnement qu'il contenait une quantité d'eau très notable :

Pour la variété *c* j'ai trouvé — Eau = 2,550.
 Id. *d* » » 2,417.

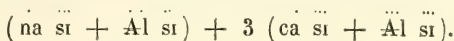
Eten général, j'ai toujours obtenu, à très peu près, le nombre 2,28 % de l'analyse. Des essais analogues, faits sur des feldspaths labradors appartenant à des roches de la même famille, m'ont montré que la quantité d'eau est d'autant plus grande que le feldspath a une teinte plus verdâtre et un aspect plus cireux; elle diminue, au contraire, ou elle devient nulle, quand sa teinte tire sur le gris. Comment une quantité d'eau aussi notable peut-elle se trouver dans le minéral constituant d'une roche que d'après tous ses caractères on a toujours regardée comme étant d'origine ignée (1)? A cet égard, un vaste champ reste ouvert aux hypothèses; mais dans cette circonstance, comme dans toute autre, je m'abstiendrai, autant que possible, d'en proposer aucune, car l'étude des roches est généralement trop peu avancée pour qu'il soit possible d'appuyer des hypothèses sur des bases solides. J'observerai, du reste, que cette eau n'est pas de l'eau hygrométrique; car le feldspath avait d'abord été desséché à une douce température, et j'ai constaté qu'étant mis dans l'eau après calcination, il ne reprenait pas

(1) J'ai constaté, par des essais très nombreux et très variés, que ce ne sont pas seulement les mélaphyres qui contiennent de l'eau, mais que c'est une propriété à peu près générale des porphyres, qui s'étend même aux porphyres granitoides.

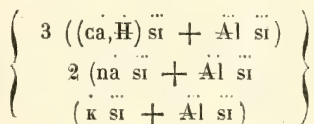
l'eau qu'il avait perdue. De plus, comme j'ai opéré sur des cristaux qui étaient aussi purs et aussi nets que possible, on ne saurait admettre que l'eau provient d'un mélange de silicate hydraté, d'une zéolithe, par exemple, qui aurait pénétré les pores du feldspath. Par conséquent, quoique d'après les idées généralement reçues cela paraisse paradoxal au premier abord, cette eau entre dans la composition du feldspath, et c'est bien de l'eau de combinaison. Au surplus, l'exactitude des considérations qui précèdent est démontrée, *à posteriori*, par la composition même du minéral; car, en ne tenant pas compte de la quantité d'eau, on trouve toujours pour l'oxygène de R un nombre trop petit, et il est impossible d'arriver à la formule du labrador. Bien que les idées de M. Scheerer sur l'*isomorphisme polymère* aient besoin, avant d'être adoptées d'une manière définitive, de la sanction de faits nombreux, et que plusieurs chimistes ne les aient pas acceptées d'une manière complète, il résulte cependant de l'étude d'un grand nombre de minéraux que l'eau peut être considérée comme jouant le rôle de *base* dans ce feldspath. De plus, admettons aussi avec M. Scheerer que 3 atomes d'eau peuvent remplacer 1 atome de chaux dans des composés isomorphes; comme il est établi par les analyses antérieures de feldspath que la somme des quantités d'oxygène des bases à 1 atome, bien qu'elles ne soient pas isomorphes, est à l'oxygène de l'alumine dans le rapport de 1 à 3, il devra en être de même encore, quand, dans l'analyse précédente, on aura remplacé l'eau par son équivalent en chaux; et c'est précisément ce que démontre le tableau ci-dessus. Il faut observer, cependant, qu'il est nécessaire aussi d'admettre que le fer est à l'état de peroxyde, ce qui n'est pas impossible, du reste, malgré la couleur verdâtre du feldspath, car des hydrosilicates renfermant du peroxyde de fer peuvent avoir une couleur verte. Des études plus complètes sur l'isomorphisme polymère apprendront sans doute par la suite si cette conjecture est fondée. Quoi qu'il en soit, les considérations qui précèdent conduisent, pour les rapports d'oxygène, aux nombres : 1 : 3 : 6, et par conséquent le feldspath analysé est bien du *labrador*. Il faut observer, toutefois, que ce labrador constitue une *variété* bien distincte de cette *espèce minérale*; d'abord sa densité, lorsqu'il n'est pas altéré, est un peu plus grande; il n'est pas chatoyant suivant la face $\infty P \infty$; de plus, il renferme 2,28 p. 100 d'eau jouant le rôle de base, moitié moins de chaux, une proportion très notable de potasse, et presque autant d'alcali que l'albite ou que l'oligoclase. Quoiqu'il soit absolument sans objet de donner un nom particulier à ce labrador, il importe

cependant de bien remarquer qu'il diffère notablement de tous les labradors types examinés jusqu'à présent (1), ainsi que de celui des laves modernes, analysé par M. Abich; il y a donc différence dans les propriétés physiques et chimiques, et en même temps différence d'âge et de gisement géologique.

D'après la formule proposée par M. Berzélius pour le labrador, R est formé de 1 at. de soude et de 3 at. de chaux; ce qui donne :



Pour le labrador de Belfahy, les résultats ne sont pas très éloignés de $\text{R} = (\overset{\cdot}{\text{K}}, \overset{\cdot\cdot}{\text{Na}}, \overset{\cdot\cdot}{\text{Ca}}, \overset{\cdot\cdot}{\text{H}})$, en sorte qu'on peut admettre qu'il y a environ 2 atomes de chaux, 2 atomes de soude, 1 atome de potasse et 3 atomes d'eau; cela conduit alors à une formule assez compliquée, mais qu'on peut cependant grouper d'une manière simple, comme il suit :



Si on fait le calcul de la formule, on trouve :

	Atomes.	Poids atomiques.	
Silice.	12.	577,48.	52,88
Alumine.	6.	642,33.	29,40
Chaux.	2.	356,02.	4,67
Soude.	2.	390,90.	5,97
Potasse.	1.	589,92.	4,50
Eau.	3.	112,48.	2,58
			100,00

Comme on n'a pas tenu compte du fer et du manganèse, on voit que la formule proposée s'accorde, aussi bien que possible, avec les résultats de l'analyse. Dans l'explication de la carte géologique de France (2), M. Élie de Beaumont avait indiqué que ce feldspath était du labrador, en faisant observer, toutefois, que M. Daubrée le considérait comme de l'oligoclase : au premier abord, cela

(1) Voir Rammelsberg, Handwörterbuch, etc.

(2) *Explication de la carte géologique de France. Vosges.*

paraît vraisemblable ; car, par ses propriétés physiques, il a de la ressemblance avec ce dernier feldspath ; il est, en effet, presque toujours compacte, non transparent et quelquefois un peu laiteux ; en outre, ses cristaux présentent des stries dues à une macle qui s'est formée suivant la même loi que celle de l'oligoclase, c'est-à-dire par une rotation de 180° s'opérant autour de la normale à la petite diagonale menée dans le plan de la base. Comme les cristaux ne sont pas assez nets pour qu'il soit possible de mesurer avec quelque précision l'angle de la macle au goniomètre, l'analyse chimique seule pouvait faire connaître, d'une manière certaine, si ce feldspath était du labrador ou de l'oligoclase.

Augite. — Après le feldspath labrador, le minéral qu'on rencontre le plus ordinairement dans le porphyre de Belfahy est l'*augite*, dont la présence a été signalée depuis longtemps par MM. Voltz et Thirria. Il est rare de trouver des cristaux ayant quelques millimètres de dimension ; mais, à la loupe, on peut assez fréquemment distinguer le pyroxène sous la forme de petites agrégations d'un vert foncé, ressemblant à de la coccolite, et qui présentent quelquefois des cristaux mal définis. Tantôt il semble se fondre dans la pâte, tantôt, au contraire, il forme de petits globules à peu près sphériques, qui s'en séparent d'une manière très nette par une surface lisse et qui donnent à la roche l'aspect d'une variolite à petit grain. Ce pyroxène est généralement d'un vert très foncé et tirant sur le noir. J'ai extrait de petits cristaux d'un échantillon à pâte vert clair, dont le feldspath, quoique cristallisé, avait même couleur que la pâte, et qui provenait de l'ancienne galerie de mine dite la Sainte-Barbe, à la Planche-des-Belles-Filles. J'ai trouvé pour leur densité. 3,273.

Les cristaux de pyroxène offrent, en général, dans la cassure de la roche, des parallélogrammes ou des rectangles indiquant que le minéral est cristallisé dans les formes limitées par les prismes ainsi que par les pinakoïdes ; souvent cependant on peut observer, des deux côtés du prisme, un biseau produit par la combinaison de la demi-pyramide primitive avec les formes précédentes. Dans la cassure, cela donne un hexagone allongé. Sur plusieurs cristaux verts-noirâtres, et surtout sur ceux qui sont d'un vert plus clair, j'ai observé la forme qui, d'après le système de cristallographie de N. Naumann, est représentée par : $\infty P. \infty P. \infty. (\infty P \infty). P.$

C'est la forme habituelle de l'*augite* des volcans. Outre le pyroxène, on rencontre encore dans le porphyre de Belfahy quelques minéraux accidentels et qui sont beaucoup plus rares.

Pyrite de fer. — Ainsi on trouve de la *pyrite de fer* d'un jaune

pâle, disséminée en très petite quantité, et souvent elle n'est visible qu'à la loupe. J'en ai observé plusieurs petits cristaux de forme cubique et qui présentent des stries sur leurs faces; ces stries, qui ont des directions perpendiculaires sur deux faces contiguës, sont celles que M. Delafosse considère comme l'indication de dissemblance entre des parties du cristal géométriquement égales et comme pouvant servir à expliquer son hémiedrie. La pyrite de fer est disséminée dans toute la masse du porphyre; mais il n'en est pas de même des autres minéraux desquels il nous reste à parler, qui sont : l'épidote, le quartz, la chaux carbonatée et un minéral qui paraît se rapporter à une chlorite ferrugineuse. Remarquons d'abord qu'ils ne se rencontrent le plus ordinairement que dans les parties de la roche dans lesquelles le feldspath ne forme pas des cristaux nettement séparés, et qui n'ont pas une structure porphyrique bien caractérisée.

Epidote. — L'épidote est d'un beau vert pistache clair; elle est radiée et cristallisée, mais le plus souvent ses cristaux sont microscopiques; j'en ai observé présentant la forme de prismes à 4 faces, allongés, qui sont formés par des faces parallèles à la diagonale perpendiculaire combinée avec des pointements latéraux à 4 faces; ces cristaux sont implantés par une des extrémités de la diagonale perpendiculaire. Au mont Menars, entre Plancher-les-Mines et Auxelles-Haut, on trouve un porphyre vert-noirâtre, avec quelques lamelles de labrador, paraissant n'être qu'une dégradation du porphyre de Belfahy, et qui est à la limite de ce porphyre et du terrain de transition, du côté de Plancher-Bas; l'épidote y forme des filons avec du quartz, qui occupe ordinairement la partie centrale du filon, et les bandes de quartz sont parallèles aux bandes d'épidote; dans quelques parties, les filons d'épidote et de quartz se ramifient dans toutes les directions et se multiplient tellement, que la roche en est complètement imprégnée; sa pâte est plus dure et elle prend à peu près la couleur vert pistache de l'épidote. On y remarque, en outre, de petits points sphériques verts-noirâtres qui la font ressembler à une *variolite*. Une *variolite* du même genre, et qui m'a paru être formée de quartz blanc entouré d'une couronne concentrique d'épidote vert pistache se fondant insensiblement dans la pâte, se trouve à l'ouest au fond de la vallée qui conduit de la scierie Saint-Antoine au Plain-des-Bœufs. Enfin, M. Thirria (1) a désigné sous le nom de *variolite euritique* une roche qu'on rencontre à la Chapelotte, près de la Ferrière,

(1) *Statistique de la Haute-Saône*, p. 384.

Soc. géol., 2^e série, tome IV.

sur la route de Faucogney à Coravillers ; sa masse est imprégnée d'épidote qui lui donne une couleur vert pistache, en même temps elle présente des noyaux qui sont le plus ordinairement formés de quartz et d'une substance verte particulière qui sera étudiée plus loin ; en sorte que sa couleur, en tranchant sur le vert clair de l'épidote, lui donne l'aspect d'une variolite. Ces trois roches sont semblables, et on peut les considérer comme une dégradation du porphyre qui nous occupe, dégradation qui se présente à la limite de la formation ; car au mont Ménars et au Plain-les-Bœufs elle est près du terrain de transition, et à la Chapelotte elle s'est produite près du contact du porphyre avec des roches granitoïdes. L'épidote paraît, du reste, s'être formée surtout à la limite du porphyre de Belfahy, car on la trouve encore près de la Grève et de Mielin, à la séparation d'un autre porphyre très développé, aux environs de Servance. Ici, elle ne forme plus des filons ou des *stockwerk* qui ont pénétré la roche ; elle présente des cristaux radiaux, bacillaires, dans l'intérieur d'*amygdaloïdes* contenant du quartz, de la *chaux carbonatée* et quelquefois le *minéral particulier* que je viens de mentionner. Ces quatre substances ne sont pas déposées au hasard dans les amygdaloïdes, mais elles présentent toujours des couches concentriques, dont nous étudierons plus loin la disposition.

Quartz. — Le quartz se trouve en noyaux de forme plus ou moins sphérique dans ces amygdaloïdes du porphyre de Belfahy. Il est blanc, parfaitement transparent, et on n'y observe pas de couches concentriques de diverses couleurs, comme dans le quartz agate des porphyres d'Oberstein et de quelques autres localités : c'est du quartz hyalin pur, car je me suis assuré qu'il n'éprouve aucune perte par calcination : quand il est cristallisé, il est implanté par une de ses extrémités perpendiculairement à la surface de la géode. Les amygdaloïdes sont souvent formées seulement de quartz ; quelquefois aussi on y trouve du quartz et de l'épidote, mais le plus ordinairement l'épidote ne se rencontre pas sans quartz ; quelquefois elles sont microscopiques et elles forment de très petites veinules de quartz répandues dans la pâte, où elles ne deviennent visibles qu'après calcination.

Chaux carbonatée. — La *chaux carbonatée* est blanche, à l'état spathique, et elle ne présente pas de cristaux définis ; cela tient d'abord à ce qu'elle remplit les amygdaloïdes d'une manière complète. A Giromagny, dans des amygdaloïdes de plusieurs centimètres de longueur, je l'ai rencontrée à l'état saccharoïde et ayant une couleur bleuâtre ; elle contient alors un peu de carbonate de

fer, car elle se colore en jaune par l'altération de l'air ; mais elle ne renferme pas de carbonate de magnésie. Près de Faucogney, sur la route de Coravillers et à Belonchamp, on trouve une assez grande quantité de carbonate de chaux, répandue dans un porphyre qui est une variété de celui de Belfahy. Les cavités qui contiennent la chaux carbonatée sont plus grandes, et ne sont pas à peu près sphériques ou ellipsoïdales, comme quand il y a du quartz et de l'épidote ; elles sont, au contraire, angulaires, allongées, généralement très irrégulières, et elles peuvent avoir plusieurs décimètres dans leur plus grande dimension. Relativement au carbonate de chaux, on peut faire à peu près la même remarque que pour le quartz et l'épidote : c'est qu'il ne paraît, en général, se trouver avec abondance que dans les variétés du porphyre qui ne contiennent pas de cristaux de feldspath nettement séparé de la pâte, et qu'il semble être souvent à la limite de la formation. Quand le carbonate de chaux a été dissous par l'action des eaux pluviales, on a la variété de la roche qui est celluleuse, et qu'on désigne quelquefois sous le nom de *Spilite*. La chaux carbonatée qui se trouve dans les cellules du porphyre est le plus souvent accompagnée par une substance verte, fibreuse, que je vais décrire avec détail. Plusieurs excursions géologiques m'ont permis de l'observer avec M. Pidancet, dans un grand nombre de localités, parmi lesquelles je citerai surtout Belfahy, Mielin, Faucogney, Auxelles-Haut, le Puits et les environs de Giromagny. Elle n'avait pas échappé aux études si scrupuleuses de M. Voltz, et, dans sa description minéralogique et géologique de l'Alsace, il la désigne dubitativement sous le nom de *Picrolite* ; mais il est facile de reconnaître, par un examen attentif ou par des essais, que ce n'est pas de la picrolite, car elle n'a avec elle qu'une ressemblance éloignée dans sa structure et dans son mode de gisement, tandis que sa composition chimique est différente. — Le minéral duquel nous nous occupons en ce moment tapisse les cavités cellulaires qui se trouvent dans la masse du porphyre ; il se rencontre dans presque toutes, mais ordinairement en très petite quantité. Il est formé de fibres contiguës, radiées, recouvrant comme un enduit l'intérieur des cavités, et disposées en éventail suivant les rayons de demi-sphères juxtaposées dont les centres sont sur la surface de contact ; ces fibres sont souvent recouvertes par de la chaux carbonatée blanche cristallisée : quelquefois aussi elles sont entourées de noyaux concentriques de quartz ; mais, quoi qu'il en soit, le minéral forme une bande fibreuse, de largeur uniforme, de couleur verte plus ou moins foncée, qui, par toutes ses pro-

priétés et par son aspect, se distingue bien nettement de la masse de porphyre, ainsi que des autres minéraux qui peuvent l'accompagner. La densité du minéral est à peu près de 2,89. Cette densité est élevée surtout pour un hydrosilicate; mais cela doit être attribué à la grande teneur en fer. La couleur du minéral est tantôt le vert, tantôt le noir verdâtre; les variétés qui ont la teinte la plus foncée paraissent contenir une plus grande proportion de fer, et en tout cas elles se décomposent plus facilement par l'action de l'air, et elles se recouvrent d'un enduit couleur de rouille, ou brunâtre comme l'oxyde de manganèse. La dureté du minéral est très faible; elle est comprise entre 2 et 2,5; aussi est-il rayé avec la plus grande facilité avec l'ongle. Sa poussière est d'un vert clair, tirant un peu sur le gris, comme celle de la sismondine; il se laisse écraser avec beaucoup de facilité, mais en même temps il s'agglutine sous le pilon comme les minéraux à base de magnésie, en sorte qu'il est difficile de le réduire en poudre fine. Dans le tube fermé, il donne de l'eau et il prend une couleur vert sombre, ou brun tombac à reflets métalliques. Au chalumeau, il fond, mais très difficilement, et seulement sur les bords; on a une scorie noire magnétique, dont la dureté est égale à celle du feldspath. Avec le *borax* la dissolution est complète, et on a une perle transparente colorée par le fer. Avec le *phosphate de soude* il en est de même; la perle, jaune à chaud, est incolore à froid. Avec le *carbonate de soude* on a une perle dans laquelle tournoient des squelettes gonflés; cette perle est opaque et jaune-verdâtre à froid. — Sur la feuille de platine on a la réaction du manganèse. Il s'attaque avec la plus grande facilité par les acides, soit avant, soit après calcination; la silice séparée par cette attaque n'est pas grenue; elle se gonfle, mais elle ne fait pas gelée, comme cela a lieu pour les zéolithes. Les essais par voie humide apprennent qu'il n'y a pas d'autres substances que celles qui viennent d'être indiquées, si ce n'est un peu de chaux: j'ai trouvé aussi quelquefois une trace d'alcali, provenant probablement d'une petite quantité de porphyre mélangé, dont le feldspath avait été attaqué. — La matière dont j'ai fait l'analyse a été extraite de plusieurs cellules, d'un morceau de porphyre que j'avais pris en place dans un endroit qu'on nomme la Grève, et qui est situé près de Mielin, sur la route entre Servance et Mielin: par le triage, je l'ai débarrassé, aussi bien que possible, du quartz, ainsi que des fragments de porphyre qui l'accompagnaient; puis j'ai enlevé la chaux carbonatée, en la traitant par de l'acide acétique très faible; j'ai reconnu que l'acide nitrique ne devait pas être employé à cet usage,

ni même l'acide acétique concentré, car ils attaquent légèrement la substance; ensuite le résidu a été lavé, et desséché à une douce chaleur. Pour faire l'analyse quantitative, j'ai attaqué 1^s,2 du minéral par l'acide hydrochlorique; après avoir évaporé à sec pour séparer la silice, la magnésie a été dosée à l'état de sulfate, en employant le procédé de Fuchs, et en précipitant le peroxyde de fer et l'alumine par le carbonate de baryte: j'ai déterminé le poids de l'alumine et du fer, puis j'ai dosé directement le fer en dissolvant à plusieurs reprises l'alumine dans de la potasse liquide qui était évaporée à sec dans une capsule de platine. En retranchant de la silice la portion insoluble dans la potasse qui provenait d'une petite quantité de la roche ayant échappé au triage, j'ai trouvé, dans deux analyses:

	1 ^o	2 ^o	Moyenne.	Oxygène.
Silice.	30,37	31,40	31,07	46,456
Alumine.. . . .	46,08	44,89	45,47	7,224
Peroxyde de fer.	22,42	22,00	22,21	6,897
Protoxyde de manganèse..	traces	»	»	»
Chaux.	0,36	0,56	0,46	0,129
Magnésie.	48,98 diff.	49,29	49,14	7,408
Eau.	44,43	44,66	44,55	10,268
	400,00	99,80	400,67	

Les nombres trouvés pour la silice, l'alumine et l'eau, semblent indiquer que le minéral est une chlorite; mais elle serait alors beaucoup plus pauvre en magnésie que toutes celles analysées jusqu'à présent, et au contraire beaucoup plus riche en fer. Ainsi que cela avait été annoncé par M. de Marignac pour la chlorite qu'il a examinée, j'ai constaté que le minéral contient du peroxyde et du protoxyde de fer; j'ai même fait des essais au moyen du chlorure double d'or et de soude, ayant pour but de déterminer la proportion de ce dernier; j'ai trouvé dans deux expériences sur 1^s 2,

$$\begin{array}{lcl} \text{Fe} = 4,67 - 3,78 - \text{En moyenne} = 4,07 - \text{Oxygène} & 0,950 \\ \text{donc} & \text{Fe} & = 17,54 \quad \text{Id.} \quad 5,382. \end{array}$$

Il faut reconnaître toutefois que la facilité avec laquelle le chlorure d'or se décompose, et que le temps nécessaire pour l'attaque complète du silicate, sont des obstacles qui s'opposent à ce qu'on soit bien sûr de ce résultat. Il est difficile de trouver une formule bien simple qui représente la composition de la substance; peut-être conviendrait-il d'adopter celle qui a été proposée pour la chlo-

rite par M. Rammelsberg. Quoi qu'il en soit, d'après l'ensemble des propriétés physiques et chimiques, il me semble qu'on peut regarder le minéral comme une chlorite à base de fer; aussi le désignerai-je par la suite sous le nom de *chlorite ferrugineuse*.

— La chlorite ferrugineuse se montre encore absolument avec les mêmes caractères dans le porphyre vert antique, dans les porphyres pyroxéniques du Tyrol et de l'Oural, et en général dans *tous* les mélaphyres; enfin, dans les cellules de toutes les roches de trapp et de porphyre, on observe aussi des terres vertes qui paraissent n'être que des variétés du même minéral (1). La chlorite ferrugineuse a du reste un mode de gisement particulier qu'il est nécessaire d'étudier avec quelques détails. Elle n'est jamais engagée dans la roche de porphyre ou mêlée aux cristaux de feldspath, elle se trouve seulement dans des amygdaloïdes. Elle a toujours une structure grenue, mais cependant radiée et fibreuse, et ses fibres sont perpendiculaires à la surface sur laquelle elles reposent; elle remplit tantôt partiellement et tantôt complètement les cavités celluleuses qui la renferment. La grosseur et la forme de ces cavités sont excessivement variables: le plus ordinairement, cependant, elles sont allongées et à peu près elliptiques; souvent on ne les aperçoit qu'avec le secours de la loupe, et on peut reconnaître alors que le porphyre en est complètement criblé; le plus généralement, cependant, elles ont quelques millimètres, et je n'en ai pas observé dans les Vosges dont la grandeur fût supérieure à un décimètre. Elles ne sont pas toujours isolées, mais elles communiquent quelquefois entre elles par de petits canaux dans lesquels se trouve également de la chlorite ferrugineuse; c'est ce que j'ai observé au Puix, près de Giromagny. Le plus ordinairement, la chlorite ferrugineuse n'est pas seule dans les cavités; elle est accompagnée de *chaux carbonatée* blanche, formant des lamelles cristallines dans l'intérieur desquelles elle s'engage: ainsi on observe une couche plus ou moins épaisse de chlorite dont l'épaisseur peut même quelquefois devenir microscopique, et dans l'intérieur de l'amygdaloïde se trouve la chaux carbonatée. Cette structure des amygdaloïdes est la plus générale; cependant on observe quelquefois une structure inverse de celle-là, et la chlorite peut se trouver au centre d'une amygdaloïde calcaire. — Le *quartz*, l'*épidote* tapissent également les cavités des amygdaloïdes, et il importe d'examiner quelle est la disposi-

(1) Voir la notice spéciale publiée sur ce minéral par M. Delessé, dans les *Annales des mines*.

tion et l'ordre de succession que présentent entre eux ces divers minéraux. Le quartz est blanc, transparent, quelquefois un peu laiteux; on trouve des amygdaloïdes formées seulement par la chlorite et par le quartz. Le plus ordinairement, le quartz est intérieur et il est entouré par la chlorite, quelquefois cependant j'ai observé une disposition inverse; de plus, il y a une bande *q'* d'un blanc laiteux, à limites mal définies, qui enveloppe concentriquement la chlorite et la chaux carbonatée. D'après la dureté, il m'a paru que c'était du quartz impur ou peut-être même du feldspath. A la Grève, près de Mielin, on rencontre de très belles amygdaloïdes dont quelques unes ont jusqu'à un décimètre de longueur; elles sont principalement formées de quartz hyalin et elles présentent souvent des cristaux d'épidote dans leur intérieur; quelquefois même on observe du carbonate de chaux spathique, comme dans les amygdaloïdes que je viens de décrire, et on a la disposition suivante: au centre le calcaire spathique *c*, puis les cristaux d'épidote vert pistache *e* qui sont radiés et orientés de diverses manières; ils sont entourés par une bande concentrique *q* de quartz hyalin blanc transparent, dont les cristaux s'engagent entre ceux de l'épidote; puis il y a un filet très mince de chlorite ferrugineuse *f* autour duquel se trouve une petite bande *q'* d'un blanc laiteux qui paraît passer déjà au feldspath composant la masse du porphyre. Il semble, dans certains cas rares, que la disposition de l'épidote et de la chaux carbonatée est inverse, c'est-à-dire que l'épidote est entourée par la chaux carbonatée; cependant cela m'a paru tenir à ce que des cristaux d'épidote traversaient l'amygdaloïde et pénétraient jusqu'au centre. Quelquefois on trouve des amygdaloïdes formées de cristaux d'épidote seulement; mais, dans le plus grand nombre de cas, l'épidote est dans les amygdaloïdes riches en quartz, tandis que la chlorite tapisse celles dans lesquelles il y a de la chaux carbonatée. — D'après la description qui vient d'être donnée du gisement de la chlorite ferrugineuse et des minéraux qui l'accompagnent, il peut paraître bizarre de rencontrer un hydrosilicate dans l'intérieur de roches d'origine ignée, et on est alors naturellement conduit à le rapprocher des zéolithes qui se trouvent dans les roches basaltiques et aussi dans divers porphyres. Je ferai remarquer cependant que, tandis que les zéolithes ont pour caractère de ne pas contenir de fer ou seulement une très petite quantité, la *chlorite ferrugineuse* en renferme au contraire beaucoup; en sorte qu'on pourrait dire que c'est une *zéolithe à base de fer*, et, dans une classification raisonnée des minéraux, elle devrait nécessairement prendre rang à

la suite de cette espèce minérale. Du reste, c'est seulement en partant de l'étude qui vient d'être faite du gisement de la chlorite ferrugineuse et des divers minéraux qui l'accompagnent, qu'il est possible d'expliquer par une théorie son mode de formation, ainsi que celui des zéolithes, et c'est aussi ce que je me propose de développer par la suite.

Pâte. — La couleur de la pâte du porphyre de Belfahy est le plus ordinairement un vert assez foncé; elle varie du noir nuancé de vert au vert très clair et au gris. Dans quelques cas rares, elle a une teinte violacée; c'est ce qu'on peut observer au Puix sur des échantillons qui renferment de petits cristaux de feldspath nombreux et bien formés, qui sont quelquefois d'un beau vert tendre. La couleur grise ou gris verdâtre s'observe surtout dans les environs de Giromagny, mais alors la roche se présente souvent à l'état de spilite, elle renferme des amygdaloïdes contenant surtout de la chlorite et de la chaux carbonatée, et on n'y observe plus de cristaux nettement formés de feldspath; elle paraît être une dégradation du porphyre type de Belfahy. La couleur de la poussière de la pâte est généralement le gris clair. La structure est cristalline, mais les cristaux sont trop petits pour qu'il soit possible de les distinguer à l'œil nu.

Densité. — Dans plusieurs expériences, j'ai trouvé pour la densité :

<i>a</i> Pâte noire avec une nuance violacée du village de Belfahy.	2,803
<i>b</i> Pâte vert foncé, tirant un peu sur le noir, du ballon de Belfahy.	2,778
<i>c</i> Pâte vert foncé, tirant un peu sur le noir, du ballon de Belfahy.	2,774
<i>d</i> Pâte vert clair de la Planche-des-Belles-Filles, près la Sainte-Barbe.	2,767

On peut remarquer que la densité offre des différences très faibles et qui sont seulement de quelques unités dans le chiffre des centièmes; cependant j'ai opéré sur des échantillons qui représentent à peu près les limites extrêmes de la pâte du porphyre. Que la roche soit compacte ou caverneuse et amygdaloïde, elle attire d'une manière très sensible l'aiguille aimantée, et l'action qu'elle exerce est d'autant plus forte qu'elle a une couleur noire plus foncée; elle l'attire encore quand elle a une couleur verte violâtre, mais cela cesse d'avoir lieu quand elle est gris clair ou violet rougeâtre. Il en est de même lorsque la roche renferme une grande quantité

d'épidote comme la variolite vert pistache de La Ferrière près Faucogney ; mais dans ces divers cas elle n'est plus qu'une dégradation du porphyre. De même que le feldspath, qui y forme des cristaux isolés, la pâte contient de l'eau de combinaison, et dans la série d'essais sur les variétés de la roche que j'ai décrites, j'ai obtenu les résultats suivants :

(1)	Pâte verte foncée du feldspath analysé.	2,14
(2)	<i>Id.</i> noire bleuâtre.	2,28
(3)	Porphyre à pâte noirâtre et à grands cristaux de feldspath (Belfahy).. . . .	2,17
(4)	<i>Id.</i> à pâte violacée, avec petits cristaux de feldspath (Puix).	2,20
(5)	<i>Id.</i> vert clair, avec pyroxène (Planche-des-Belles-Filles).	2,40
(6)	<i>Id.</i> vert foncé, à grands cristaux de feldspath, sa pâte est (1).	2,42
(7)	<i>Id.</i> vert pistache, variolé (Laferrière). . . .	2,60
(8)	<i>Id.</i> vert foncé, sans cristaux de feldspath isolés (Puix).	3,59

On voit d'après ce tableau que la teneur en eau varie peu dans le porphyre de Belfahy. Il y a à peu près la même quantité d'eau dans le feldspath et dans la pâte du porphyre, et on peut admettre que la moyenne, pour le porphyre bien caractérisé, est de 2,2 à 2,5 p. 100. Lorsque la teneur en eau est supérieure à ce nombre, la roche a perdu son caractère comme (7), ou bien comme cela a lieu pour (8) ; elle renferme un peu de carbonate de chaux ou de chlorite. Du reste, par la calcination, toutes ces roches prennent une couleur verte brunâtre ou quelquefois rougeâtre ; celles qui étaient magnétiques le sont encore, et celles qui ne l'étaient pas le sont devenues. Ces propriétés du porphyre, d'exercer de l'action sur l'aiguille aimantée et de contenir de l'eau de combinaison, qui, à ma connaissance, n'ont pas encore été signalées jusqu'à présent, me semblent importantes à constater relativement à sa nature ainsi qu'à son origine, et j'aurai l'occasion d'y revenir un peu plus loin.

Chalumeau. — Au chalumeau, la pâte du porphyre fond à peu près aussi difficilement que le feldspath, et on obtient une perle d'un vert bouteille. Avec le *borax*, la matière se dissout complètement, quoique avec difficulté, et on a une perle fortement colorée par le fer. Avec le *sel de phosphore*, la dissolution est complète, ce qui n'a pas lieu pour le feldspath. Avec le *carbonate de soude*, il se produit une vive effervescence ; des squelettes

gonflés restent dans la perle ; après le refroidissement, on a un bouton cristallin d'un vert pistache clair. Sur la feuille de platine, on a la coloration verte qui indique la présence du manganèse ; et c'est ce qu'indique aussi l'altération produite par l'atmosphère qui couvre la surface de la roche d'une couche brunâtre tachant les doigts.

Acides. — Quand on traite la pâte du porphyre par de l'acide hydrochlorique, même à froid, l'acide prend immédiatement une couleur jaune qui indique qu'il s'est dissous une certaine proportion de fer. Dans le but de m'éclairer sur la nature des minéraux qui composent la pâte du porphyre, j'ai recherché la proportion de substances attaquées, soit à froid, soit à chaud, par l'acide hydrochlorique. J'ai constaté ainsi qu'avec de l'acide hydrochlorique concentré, au bout de deux jours, on dissout à froid 23 p. 100, soit à peu près $1/5$, de la pâte noire *a*. Avec le même acide, à chaud et au bout du même temps, après avoir évaporé à sec, la proportion dissoute est un peu plus forte que si on opérât à froid, et à peu près la même que pour les cristaux de feldspath pur ; elle est alors de $1/3$.

J'ai fait aussi, au moyen du carbonate de soude et de l'acide fluoryhdrique, des analyses ayant pour but de déterminer la composition chimique de quelques variétés du porphyre, et j'ai obtenu ainsi :

	(1) 1g, 2 co ² , nao et fl ² h ²	(2) 1g, 2 co ² , nao	(3) 1g, 33 co ² , nao.
Silice.	53,47	50,79	49,82
Alumine.	49,77	27,25 Al, Fe	29,74 Al, Fe
Protoxyde de fer.	8,56		
Protoxyde de mangan.	0,51		
Chaux.	3,87	8,02	7,31
Magnésie.	4,96 (diff.)	10,74 (diff.)	10,93 (diff.)
Soude et potasse.	7,02		
Eau	2,44	3,50	2,20
	100,00	100,00	100,00

(1) Pâte vert noirâtre du porphyre de Belfahy, à grands cristaux de labrador, et le mieux caractérisé.

(2) Porphyre un peu bréchiforme, avec fragments de même nature que la pâte, et ayant une couleur verte ou légèrement violâtre, de la scierie, près du Puix, route du ballon de Giromagny, et non loin du contact de la roche avec le schiste de transition. C'est la pâte qui a été analysée : elle est d'un vert assez foncé, elle contient de petits cristaux très peu nets de

- labrador, et, dans quelques cas rares, des grains de pyroxène.
- (3) Porphyre de Giromagny, à pâte rouge violacée; il renferme un très grand nombre de petits cristaux de feldspath, parfaitement nets et d'un beau vert d'eau; quelquefois aussi il y a des cristaux de pyroxène d'un vert foncé: c'est la pâte qui a été analysée.

Les résultats des essais et des analyses qui précèdent peuvent se résumer brièvement de la manière suivante :

Dans le porphyre de Belfahy bien caractérisé et à grands cristaux de feldspath, la quantité de silice de la pâte est égale à celle du labrador; pour les porphyres qui, comme (2) et (3), ne sont plus que des dégradations de (1), elle est inférieure de quelques centièmes. Dans toutes les variétés, il il y a moins d'alumine et moins d'alcali, beaucoup plus de fer, de manganèse et de magnésie; tantôt plus et tantôt moins d'eau et de chaux que dans le feldspath.

M. Grézely, propriétaire de la verrerie de la Saulnaire, ayant bien voulu mettre à ma disposition ses fours de verrerie, j'ai essayé d'y fondre le porphyre de Belfahy; j'ai reconnu qu'à cette température il entre complètement en fusion: il donne alors un verre compacte à cassure conchoïde et fortement coloré par le fer (1). En fondant ainsi le porphyre, il est plus facile d'étudier ses propriétés chimiques, car j'ai reconnu qu'après porphyrisation, il se laisse alors complètement attaquer par l'acide hydrochlorique, mais la silice se sépare cependant toujours à l'état grenu: il est probable que la fusion a surtout pour effet de modifier la manière d'être de l'alumine, qui, lorsque la roche est telle qu'on la trouve dans la nature, résiste surtout à l'action de l'acide. Le morceau de porphyre de Belfahy que j'ai fait fondre appartenait à un échantillon semblable à celui désigné sous le numéro (1), dont j'ai analysé les cristaux de feldspath ainsi que la pâte; il avait une pâte verte, tirant sur le noir, avec de grands cristaux de feldspath blancs-verdâtres; on n'y distinguait pas de pyroxène. J'ai attaqué 2^e du verre provenant de la fusion par l'acide hydrochlorique, et j'ai obtenu :

(1) Voir pour plus de détails le Mémoire publié par M. Delesse dans les *Annales des mines*.

		Oxygène.
Silice.	53,45. . .	27,773
Alumine.	22,26. . .	10,593
Protoxyde de fer.	8,42. . .	1,848
Protoxyde de manganèse. . .	0,96. . .	0,245
Chaux.	3,68. . .	1,037
Magnésie (diff.).. . . .	3,65. . .	1,404
Soude (1).	5,49. . .	1,404
Potasse.	2,39. . .	0,405
	100,00.	

Il résulte de cette analyse, comparée avec celle du numéro (1), que la *composition moyenne* de la *pâte* est à peu près la même que celle de la *masse* pour le porphyre de Belfahy. Il y a donc lieu de répéter, relativement au verre du porphyre, ce qui vient d'être dit relativement au porphyre lui-même, et j'observerai que la composition de l'un ou de l'autre peut se représenter algébriquement par la notation suivante qui définit les rapports d'oxygène de $\ddot{R}$, $\ddot{R}$, $\ddot{Si}$, dans la pâte, par comparaison avec ceux du feldspath labrador constituant :

$$\div \ddot{R} : \ddot{R} < 3 : \ddot{Si} < 6.$$

Quelquefois la pâte est assez rapprochée de la limite $\div 1 : 3 : 6$.

Minéraux constitutants. — Après avoir fait l'analyse élémentaire de la pâte du porphyre, il reste à déterminer, à l'aide des résultats qui ont été obtenus, quelle est la nature des minéraux qui la composent ; mais la solution de cette question présente de grandes difficultés, d'autant plus que jusqu'à présent les données ont complètement manqué pour la résoudre.

Labrador. — J'ai examiné au microscope et sous un grossissement de cent fois les pâtes de plusieurs variétés de la roche, et j'ai reconnu d'abord que leur *structure est à peu près la même que celle du porphyre* ; seulement les minéraux qui les composent sont très petits et peu nets ; ils se fondent en partie les uns dans les autres, et ils ont rarement des formes géométriques ; mais, quoi qu'il en soit, j'ai observé deux substances cristallines : l'une trans-

(1) La quantité de soude paraît être un peu forte ; cela tient peut-être à ce que le creuset qui a servi à la fonte ayant perdu par accident son couvercle, les vapeurs de soude qui remplissent toujours le four de verrerie ont pu se déposer sur la surface en fusion.

parente et verdâtre, formant la plus grande partie de la roche, qui, bien qu'elle soit en cristaux très petits, présente souvent la macle caractéristique du labrador; l'autre d'un vert foncé, intimement mêlée avec la première, et qui donne à la masse une teinte verte produite par le mélange des couleurs et qui fait paraître la roche homogène quand on la regarde à l'œil nu. La forte proportion d'alcali qu'on trouve soit dans la pâte, soit dans le verre du porphyre, démontre ce fait important, que la pâte et sa masse, qui ont du reste à peu près même composition, sont en grande partie formées de *feldspath labrador*; car, le plus ordinairement, les silicates verts qui contiennent le fer comme base essentielle, et qui peuvent entrer dans le porphyre, ne renferment pas d'alcali en combinaison avec le fer; il faut cependant en excepter une variété d'augite de la Vetterau, analysée par M. C. Gmelin, et l'Arfvedsonite qui paraît être une variété d'amphibole, contenant 3 atomes de fer pour 1 atome de soude. Quoi qu'il en soit, admettons que l'alcali entre surtout dans le feldspath, la quantité de feldspath du porphyre sera à peu près proportionnelle à la quantité d'alcali; par conséquent on peut supposer qu'il y en a environ 70 p. 100 dans la pâte d'un vert foncé tirant sur le noir, qui est cependant une des variétés à structure porphyrique qui doit en contenir le moins. Quant à la masse même du porphyre de Belfahy, l'échantillon fondu qui a été examiné renfermait au moins 75 p. 100 de feldspath; et il est du reste facile de reconnaître, d'après les analyses précédentes et d'après les caractères minéralogiques du porphyre, que les variétés vert clair ne sont souvent autre chose que des masses presque compactes de labrador dans lesquelles les cristaux existent toujours, mais sont tellement rapprochés que la structure porphyrique a disparu. — On peut se proposer de déterminer la proportion du feldspath de la roche d'après la densité des minéraux qui y entrent; c'est ce qui a été fait par M. de Buch (1) pour le porphyre pyroxénique du Tyrol. En admettant que le feldspath est de l'adulaire, et que la substance qui donne à la roche la couleur vert noirâtre est du pyroxène, M. de Buch a déterminé la proportion des deux minéraux par la formule d'alliage :

$$D = MS + NF$$

D étant la densité de la roche, S celle du pyroxène, F celle du feldspath; M et N représentant les proportions en volume de pyroxène

(1) Voir *Annales de chimie*, t. VI.

et de feldspath qui entrent dans l'unité de volume de la roche, en sorte que $M + N = 1$. On déduit de ce qui précède :

$$\frac{N}{M} = \frac{S - D}{D - F}$$

Il faut observer cependant que l'emploi de la formule repose sur une hypothèse peu probable, car elle suppose que le silicate de fer est du pyroxène, ce qui ne doit pas être, comme nous le verrons tout à l'heure; mais nous pouvons néanmoins essayer d'en faire usage pour le porphyre de Belfahy. Or, quelle que soit la nature du silicate vert qui colore la pâte, sa densité est égale à celle des silicates de protoxyde de fer en général, et on peut admettre par conséquent qu'elle est à peu près 3,00; le feldspath est du labrador dont la densité est 2,719, et la pâte la plus noire pèse 2,803 : il résulte donc de là que les variétés les plus foncées de la pâte du porphyre de Belfahy contiennent au moins de deux à deux fois et demie plus de feldspath, c'est-à-dire en poids au moins de 65 à 70 p. 100. Ces nombres concordent assez bien avec ceux qui ont été déduits de la composition chimique, si on observe que $S = 3,00$ est tout à fait arbitraire. Du reste, il serait préférable de se servir de cette formule pour calculer la densité du silicate à base de fer et de magnésie : on trouve alors, d'après les analyses précédentes, qu'elle est comprise entre 2,897 et 3,018.

Fer oxydulé. — J'ai constaté en outre que la pâte est magnétique; cette propriété n'est pas exceptionnelle pour le porphyre de Belfahy, mais elle s'étend aussi aux porphyres pyroxéniques, desquels je parlerai plus loin, et à tous ceux que j'ai eu l'occasion d'examiner dans diverses collections; en sorte qu'on peut la considérer comme une *propriété générale* de tous les mélaphyres. Dans le but de m'éclairer sur la nature du minéral qui, dans les mélaphyres, attire l'aiguille aimantée, j'ai fait divers essais sur quelques minéraux pouvant se trouver dans les roches. L'amphibole ne m'a paru magnétique que lorsqu'elle contenait visiblement du fer oxydulé. Pour le pyroxène, j'ai reconnu que l'augite de la Fassa est magnétique; certains augites des volcans encore en activité le sont un peu quelquefois, et il en est de même de la sahlite et de la coccolite de Norwège : l'augite du porphyre de Belfahy, qui est noir foncé, est aussi magnétique, mais la lherzolithe, la sahlite, n'exercent aucune action sur l'aiguille aimantée. L'hypersthène, la diallage bronzite, sont souvent magnétiques. D'après M. Berthier, les silico-aluminates de fer des minerais en grain, ainsi que

la chamoisite, sont magnétiques (1), et cela a lieu encore pour quelques grenats même lorsqu'ils sont transparents (2). Mais de ce que la pâte de tous les mélaphyres bien caractérisés contient, à très peu près, autant de silice que les cristaux de feldspath qu'elle renferme, il est facile de conclure que ce n'est ni du grenat, ni de la chamoisite qui forme le silicate à base de fer, car ces minéraux renferment beaucoup moins de silice. On ne saurait admettre non plus que c'est de l'hypersthène ou de la diallage, car les roches dans lesquelles elles entrent comme élément constituant se distinguent assez facilement par un *facies* particulier. J'examinerai plus loin si ce doit être du pyroxène ou de l'amphibole; mais, que ce soit l'un ou l'autre de ces deux minéraux, il me semble qu'on doit admettre que la pâte contient une quantité de fer oxydulé extrêmement petite à laquelle elle doit la propriété d'être magnétique : cela résulte en effet de ce qui a été dit sur le magnétisme, car, à cause de son irrégularité même, on doit penser que c'est du fer oxydulé dont la présence ou l'absence rend magnétiques ou non magnétiques les mêmes variétés d'augite provenant des mélaphyres ou des volcans. — En examinant le porphyre à la loupe, il m'a semblé reconnaître quelques paillettes de fer oxydulé, mais je n'ai pu acquérir une entière certitude à cet égard; il me semble toutefois que l'existence de ce minéral est démontrée par ce que je viens de dire, et elle l'est encore par la couleur noire avec reflet bleuâtre qui fait ressembler beaucoup quelques variétés du porphyre au basalte. Du reste, le fer oxydulé magnétique a été observé quelquefois dans cette formation; car, d'après des renseignements que je dois à l'obligeance de M. Virlet, on trouve du fer oxydulé titanifère dans le lit du torrent de Scotino Langada (3), qui coule en partie sur le porphyre vert antique; or nous verrons plus loin que ce porphyre est un véritable mélaphyre. Dans l'Oural, où les porphyres pyroxéniques sont très développés, M. G. Rose a signalé plusieurs localités, telles que Katschkanar et Blagodat, dans lesquelles ils se chargent peu à peu de fer oxydulé. La mine de Blagodat, qui est si renommée pour les aimants qu'elle fournit, couronne le sommet d'une montagne de porphyre pyroxénique qui contient du fer oxydulé, et, dans la description qu'il en donne, M. G. Rose (4) fait observer d'une manière toute spéciale

(1) Haüy.

(2) Berthier, *Voie sèche*, t. II. Minéral de fer.

(3) Au N.E. de Lebetsova, route de Sparte à Marathonisi.

(4) G. Rose, *Reise nach Ural*, t. I^{er}, p. 345, ligne 10.

que le fer oxydulé et le porphyre pyroxénique appartiennent à la même formation. Je pense donc qu'on doit admettre que c'est le fer oxydulé qui rend magnétique le porphyre de Belfahy et en général tous les mélaphyres.

Silicate vert. — Il reste maintenant à déterminer quel est le minéral qui donne à la pâte du porphyre sa couleur verte, et la solution de cette question présente de grandes difficultés. Il était naturel de penser qu'on y arriverait par l'analyse élémentaire ; car en recomposant le feldspath dont les cristaux ont été analysés, ce qui reste représente à peu près la composition du silicate de la pâte ; mais il faut observer que si les minéraux qui forment des cristaux isolés dans les roches sont loin d'être purs, cela a lieu à bien plus forte raison pour ceux qui sont cristallisés d'une manière confuse, et qui composent la pâte dans laquelle se concentrent toutes les substances minérales en excès, séparées par les cristallisations antérieures. De plus, les substances qui composent le feldspath et le silicate de la pâte sont en partie les mêmes, il n'y a guère que les proportions de chacune d'elles qui varient : ainsi ils renferment à peu près la même quantité de silice ; l'un et l'autre contiennent du fer, quoiqu'il n'existe qu'en petite quantité dans le feldspath. L'alumine, la chaux, l'eau et même la magnésie, sont aussi partagées, et, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, il n'est pas impossible qu'il y ait une petite quantité d'alcali dans le silicate vert. On ne peut donc pas être assuré qu'une substance entre exclusivement dans la composition du feldspath, et dès lors on ne peut pas calculer *avec exactitude* quelle est la proportion de feldspath de la roche. Du reste, lors même que ce calcul serait possible, comme le silicate vert est en petite quantité, il serait difficile de trouver sa composition chimique, car des erreurs très légères d'analyse, comme celles par exemple qui portent nécessairement sur les alcalis et surtout sur la magnésie, pourraient ensuite être multipliées dans le calcul et donner des résultats assez éloignés de la vérité. Par conséquent, bien que la recomposition de la roche d'après son analyse élémentaire puisse avoir lieu quelquefois, quand on connaît d'une manière précise la composition des minéraux constituants pour le porphyre, dont l'étude nous occupe en ce moment, cette recomposition serait, sinon impossible, du moins bien incertaine, et on ne peut guère espérer qu'elle permette de déterminer la formule du silicate de la pâte. Mais on peut cependant tirer parti des analyses qui précèdent pour arriver à la solution de la question. — M. de Buch a établi depuis longtemps qu'un des principaux caractères du porphyre qui nous occupe est

de ne pas présenter de quartz dans sa pâte. Ce principe est vrai généralement, cependant il ne doit pas être pris dans une acception trop absolue, et il conviendrait peut-être d'y apporter quelques restrictions; car, indépendamment de ce qu'il y a accidentellement du quartz dans les amygdaloïdes comme celles que j'ai décrites, j'ai pu observer, en calcinant des mélaphtes, des amygdaloïdes microscopiques ou des veinules de quartz qui démontrent qu'il y a quelquefois un très léger excès de silice dans la roche: cela a lieu en particulier pour le spilite de Fauconney, pour le porphyre de la Grève, etc. Dans la description de la carte géologique de Saxe, M. Naumann signale aussi à Rodersdorf un porphyre vert contenant des cristaux maclés d'augite et qui est très riche en quartz (1). Mais c'est surtout l'analyse chimique qui permet de constater, dans des roches qui représentent le caractère du mélaphte, la présence d'un léger excès de silice, sur la quantité théoriquement nécessaire à la formation des minéraux qui les composent; car, en analysant les cristaux de feldspath qui donnent au mélaphte la structure porphyrique, j'ai presque toujours obtenu, pour la silice, un nombre un peu supérieur à celui qui résulte de la composition théorique du labrador. — Il ne serait pas impossible, d'après cela, qu'une petite quantité de silice eût été renfermée dans des cristaux de feldspath, de quelques mélaphtes, ou dans la pâte, à l'état de ce que l'on pourrait appeler *silice de cristallisation*. Du reste, on est naturellement conduit à penser qu'il ne saurait y avoir plus de quelques centièmes de silice en excès, autrement elle aurait cristallisé elle-même au moment de la solidification. On la rencontre, en effet, à l'état hyalin, dans des roches qui n'en contiennent pas davantage, et dans lesquelles elle s'est nettement séparée, bien que leur structure ne soit pas plus cristalline que celle de la roche que nous examinons en ce moment. Enfin, comme elle est en petite quantité, on peut admettre que les quantités qui se trouvent dans le feldspath et dans la pâte sont égales, ou tout au moins proportionnelles. Ces deux hypothèses, relatives à l'excès du silice et à la proportion de cette dernière qui entre, soit dans le feldspath, soit dans la pâte, ont, du reste, été vérifiées par l'analyse chimique, ainsi que ce sera démontré dans la suite de ce mémoire; car, pour le labrador du cap Holmen, qui est exceptionnel, et qui appartient à une roche pouvant être considérée comme une *limite* des mélaphtes, l'excès sur la quantité de silice de la for-

(1) Naumann, *Geognostische Skizze*, 1^{er} vol.

Soc. géol., 2^e série, tome IV.

mule théorique, qui est alors de beaucoup un *maximum*, est 3,05 p. 100. De plus, j'ai reconnu que, quand la richesse en silice de la pâte augmente, celle du labrador, qui y forme des cristaux isolés, y augmente aussi et à peu près dans le même rapport. Ainsi, dans la roche du cap Holmen en particulier, dont le labrador contient la plus grande quantité de silice, la pâte renferme 55,29 p. 100 de silice, c'est-à-dire quelques centièmes de plus que la pâte des mélaphyres bien caractérisés. — Ce qui précède étant établi, on peut se proposer de rechercher la nature du silicate vert qui forme, avec le labrador, la pâte des mélaphyres. D'après les analyses de la roche, c'est principalement dans la pâte que les affinités de cristallisation ont réparti le fer et la magnésie; il y en aura d'autant plus que la roche a une couleur verte plus foncée et tirant plus sur le noir: de plus, il résulte de ce qui a été dit antérieurement que le silicate vert de la pâte ne peut être que du pyroxène ou de l'amphibole. Quoique le porphyre de Belfahy et la plupart des mélaphyres ne renferment qu'assez rarement des cristaux de pyroxène, comme ils paraissent quelquefois se fondre dans la pâte d'une manière insensible, il semblerait assez naturel de penser que le silicate vert est du pyroxène; mais il faut observer qu'il résulte de l'analyse que le silicate vert de la pâte contient beaucoup d'oxyde de fer, de la magnésie, de l'alumine et de la chaux, quoiqu'il puisse y en avoir moins que dans le feldspath. En outre, dans la pâte vert noirâtre du porphyre de Belfahy le mieux caractérisé, qui, à cause de sa couleur et de son aspect, semblerait au premier abord devoir être formée de feldspath et d'augite, il y a au moins 53 p. 100 de silice: or, si on recherche dans le *Manuel de minéralogie chimique* de M. Rammelsberg (1) quelle est la composition des pyroxènes dont l'analyse a été faite jusqu'à présent, on reconnaît qu'il n'y a que les pyroxènes riches en magnésie qui contiennent plus de 54 p. 100 de silice; et le pyroxène des mélaphyres du Tyrol, analysé par M. Kudernastch, n'en renferme que 50 p. 100. Le plus ordinairement, ceux qui sont riches en fer et en alumine, comme doit l'être le silicate vert de la pâte, n'ont que 40 à 51 p. 100 de silice; et les dolérites, qui sont des roches de labrador et de pyroxène, n'en ont généralement pas plus de 51 p. 100. — Les amphiboles, au contraire, qui auraient les mêmes bases et qui seraient dans les conditions précitées, pourraient renfermer 53 p. 100 de silice. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour l'amphibole de Garpenberg (Suède) analysée par M. Hisinger.

(1) Rammelsberg, t. I, p. 58.

En vertu de ce qui vient d'être dit ci-dessus relativement à la quantité de silice pouvant se trouver en excès dans la pâte, on doit donc présumer que le silicate vert est de l'amphibole, et c'est aussi ce qui m'a paru résulter d'une expérience très simple. J'ai calciné, en effet, les variétés de la roche qui contiennent du pyroxène, et j'ai reconnu après cette opération que, tandis que le pyroxène prend une couleur plus foncée, la pâte prend au contraire, généralement, une couleur brune ou rougeâtre beaucoup plus claire, ainsi que cela a lieu pour les diorites et pour les porphyres dioritiques qui sont à base d'amphibole; de plus, on voit alors que les cristaux de pyroxène sont aussi complètement isolés que possible de la pâte, de laquelle ils se détachent d'une manière très nette par le contraste des couleurs. Ces effets inverses, produits sur le pyroxène et sur le silicate vert de la pâte, ne permettent donc guère d'admettre que ce dernier soit du pyroxène, et alors il est naturel de penser qu'il est de l'*amphibole*. Cela paraîtrait s'accorder du reste avec un fait relatif aux cristaux d'ouralite, et aussi à quelques expériences de MM. Berthier et Mitscherlich. Dans l'ouralite, le pyroxène, qui est au centre, se serait formé d'abord, et l'amphibole aurait pris naissance ensuite par un refroidissement plus lent; de même aussi le porphyre de Belfahy, le feldspath et le pyroxène ont dû nécessairement cristalliser les premiers; car ils n'auraient pas pu cristalliser si la pâte avait déjà été solidifiée; ce n'est donc que postérieurement que la pâte aurait pris la structure cristalline, et alors il se serait formé de l'amphibole. Je dois faire remarquer cependant que, d'après M. G. Rose, c'est l'inverse qui aurait eu lieu, et dans l'ouralite l'amphibole serait au contraire une pseudomorphose du pyroxène; on conçoit du reste que cette pseudomorphose aurait pu se produire dans la pâte du porphyre de Belfahy et de plusieurs mélaphyres, sans que les cristaux de pyroxène isolés et visibles eussent été altérés. Si on admet que le silicate vert qui donne au porphyre sa couleur est une amphibole, cette dernière doit, dans tous les cas, avoir une composition *particulière* et peut-être même différente de celles connues jusqu'à présent qui n'ont que rarement 53 p. 100 de silice (1); indépendamment de l'oxyde de fer et de la magnésie, elle doit contenir de l'eau, car certaines pâtes en renferment une quantité plus grande que le feldspath, et c'est ce que j'aurai l'occasion de faire remarquer encore pour le porphyre vert antique et pour les autres mélaphyres que j'exami-

(1) Voir Rammelsberg, Hornblende.

nerai plus loin : de plus , de l'alumine entre très probablement dans sa composition , ainsi que cela a lieu pour la plupart des amphiboles des roches ; enfin il est remarquable que la quantité de chaux puisse y être moindre que dans le feldspath , tandis que les amphiboles analysées jusqu'ici sont en général riches en chaux. Lorsque, dans le porphyre que nous étudions, la pâte devient rougeâtre ou violacée , comme cela a lieu pour quelques variétés de Giromagny , contenant des cristaux très nets de feldspath et de pyroxène , les éléments qui entrent dans la composition de la pâte ne paraissent pas avoir pu se séparer, et le silicate vert ne s'est pas formé , quoique la roche contienne encore une proportion notable de fer.

Spilite.

Spilite de Faucogney. — Quand on quitte Faucogney (Haute-Saône) pour se diriger vers Saphoz-le-Bas et Emoulières , on remarque à gauche un mamelon ayant tous les caractères d'une roche d'origine ignée , car elle se divise en prismes pseudo-réguliers ayant quelques décimètres de dimension : cette même roche forme la base des trois montagnes au pied desquelles est située la petite ville de Faucogney ; on la rencontre également au Plaindes-Bœufs , à l'étang des Grillots près de Saint-Bresson , à Mondahin , à la Chapelotte , à Rimbach (1) , à Grindelbruch (2), etc. Elle est d'une couleur verte ou violacée , tirant un peu sur le noir ; son aspect est parfaitement homogène ; sa texture est cristalline , grenue , et elle ne présente pas de cristaux isolés bien nets. D'après l'ensemble de ses propriétés et d'après son gisement , on est naturellement conduit à la rapprocher du porphyre de Belfahy ; c'est aussi ce qui a été fait par M. Thirria , qui la classe dans son groupe du porphyre noir et qui l'a appelée *spilite* (3). Les géologues allemands désignent cette classe de roche , qui accompagne presque constamment les formations porphyriques , sous le nom de *mandelstein de porphyrite* et de *porphyrit-mandelstein*. A Faucogney , elle présente quelquefois des cellules allongées sans directions déterminées , et le plus souvent angulaires : ces cellules , qui sont très rares et petites au pied de la montagne sur laquelle se

(1) Élie de Beaumont, *Explication de la carte géologique de France*, p. 366.

(2) Voltz, *Géognosie de l'Alsace* , p. 53.

(3) C'est le spilite bufonite de M. Brongniart.

trouve le hameau d'Emoulières, deviennent très nombreuses, très irrégulières et très grandes quand on se dirige de Faucogney vers le village des Mottes; elles sont ordinairement presque entièrement remplies par de la chaux carbonatée qu'entoure un peu de chlorite ferrugineuse. Par l'altération de l'air, elle prend une couleur brune due à l'oxyde de manganèse. La densité de la roche est de. 2,906.

Elle est donc un peu supérieure à celle de la pâte du porphyre de Belfahy. Comme cette dernière, elle est magnétique; à la loupe, elle présente des lamelles verdâtres paraissant presque avoir la même couleur que la roche, et qui s'entre-croisent indistinctement dans toutes les directions; parallèlement à leur longueur, ces lamelles ont des stries très fines qui indiquent qu'elles sont formées de cristaux maclés de labrador. Quand on examine le spilite qui forme le bas de la montagne d'Emoulières, après l'avoir calciné, on y observe quelquefois une multitude de petites veinules de quartz, indiquant qu'il y a une quantité de silice un peu plus grande que celle nécessaire à la formation des minéraux qui entrent dans la composition de la roche: on peut voir, du reste, par l'analyse qui suit, que cet excès de silice est très faible, et seulement de quelques centièmes, quoiqu'il soit facile de le constater par un examen à la loupe. Je n'ai pas rencontré de cristaux de pyroxène dans ce spilite. Quand on le pulvérise, il prend une couleur d'un gris verdâtre clair. Au chalumeau, il présente absolument les mêmes propriétés que la pâte du porphyre de Belfahy. J'ai fait une analyse complète de cette roche, et j'ai trouvé:

15,2 co ² , no — Fl ² H ² .			
Silice.	54,42. . . .		28,276
Alumine.	20,60. . . .		9,630
Protoxyde de fer (1).	9,44. . . .	2,449	6,767
Protoxyde de manganèse.	0,93. . . .	0,208	
Chaux.	3,64. . . .	4,023	
Magnésie.	3,87. . . .	4,498	
Soude.	4,48. . . .	4,446	
Potasse.	0,94. . . .	0,459	
Eau.	4,97. . . .	$\frac{1}{3}$ 4,754	
100,29.			

L'analyse montre que sa composition est, à très peu près, la

(1) Une partie du fer est à l'état de peroxyde, quoique tout ait été compté comme protoxyde.

même que celle de la pâte du porphyre de Belfahy, et qu'elle présente les mêmes relations entre les quantités d'oxygène de R , $\bar{R}$, $\bar{Si}$; elle est seulement plus riche en silicate vert ou en amphibole. Elle ne contient guère que 55 p. 100 de feldspath labrador; elle constitue par conséquent un porphyre cellulaire qui n'est qu'une variété ou qu'une dégradation de celui que nous avons étudié.

Porphyre brèche.

Ainsi que cela a lieu en général dans les formations porphyriques, le porphyre de Belfahy est accompagné de brèches, et elles sont même très développées. De concert avec M. Pidancet, conservateur du musée de Besançon, j'ai observé ces brèches dans la vallée de Plancher-les-Mines, au village de Belfahy et dans ses environs, au Bois-du-Roi ainsi que sur le Ballon, aux Grands-Champs sur la route de Servance, au nord du Puix, etc. Les variétés du porphyre qui sont à l'état de spilite même très caverneux, présentent quelquefois des brèches dont la teinte générale est verte; ces spilites-brèches se rencontrent à Chauvilleraï (1), près de Faucogney, aux environs de Giromagny. Quand leurs cellules sont grandes et très nombreuses, elles sont remplies par de la chaux carbonatée, mais on y trouve aussi du quartz et de la chlorite ferrugineuse. Ces brèches ont quelquefois des couleurs vives, et elles prennent sous le poli de très belles nuances, qui les ont fait rechercher autrefois dans les scieries de pierres du département de la Haute-Saône. En examinant ces brèches avec attention, j'ai reconnu que, malgré la diversité de leurs couleurs, elles sont presque exclusivement formées de fragments à angles vifs qui appartiennent à la roche du porphyre elle-même ou à ses variétés; on y rencontre cependant aussi des fragments de roche pétrosiliceuse grise, violette ou verte, qui ne ressemblent à aucune des roches des environs et dont les caractères ont visiblement été altérés par la formation même de la brèche. Le plus ordinairement elles présentent une teinte générale qui est verte, mais souvent aussi elle est rouge ou violette; lorsque les fragments sont petits et n'ont que quelques centimètres, toutes ces nuances et leurs intermédiaires sont quelquefois réunies sur un seul échantillon, qui frappe alors l'œil par la bizarrerie et le caprice de ses couleurs.

(1) Thirria, *Statistique de la Haute-Saône*.

Dans les brèches à teinte verte de la vallée de Plancher, on rencontre souvent des fragments avec de très gros cristaux de feldspath labrador, et, sur une surface d'un mètre carré, on peut observer toutes les variétés que le porphyre présente tant sous le rapport de la couleur que de la structure. Dans les brèches à teinte rouge ou violette, on reconnaît encore très bien les cristaux de labrador qui sont caractérisés par leurs macles; il est donc possible que leur couleur, qui n'est pas celle qui est la plus habituelle à la roche, soit due à un changement dans l'état d'oxydation du fer et du manganèse qui aurait été produit dans les fragments bréchiformes. J'ai observé plusieurs fois des cristaux de labrador dont une partie se trouvait sur un fragment bréchiforme, tandis que l'autre était dans la pâte. Tout porte donc à croire que le ciment qui a réuni les fragments bréchiformes a dû pénétrer à l'état de fusion; c'est ensuite par son refroidissement que des cristaux de feldspath labrador se sont développés à la fois dans la pâte et dans le fragment ramolli. Du reste, dans les variétés de brèches à teinte verte, les fragments sont quelquefois peu nombreux et espacés; de plus, leurs contours sont très peu nets; il semblerait donc qu'ils ont été corrodés, et qu'ils se sont dissous en partie dans la pâte du porphyre. Dans les variétés rouges et violettes, le même fait peut s'observer; de plus, les cristaux de labrador des fragments bréchiformes paraissent généralement avoir été altérés; ils ont une couleur blanchâtre et sont complètement opaques, leurs arêtes ne sont pas nettes, et enfin on n'y observe plus de clivage. Cette altération a sans aucun doute été produite aussi par le phénomène qui a engendré les brèches. J'ai cherché quelle est la quantité d'eau que contiennent les principales variétés de brèches, et j'ai obtenu les résultats suivants :

- (1) Fragment rouge d'une brèche à pâte verte, de Belfahy. 1,302
- (2) Brèche à pâte violacée, contenant de petits fragments
d'un vert foncé, de Belfahy. 1,725

Pour les brèches vertes, on aurait du reste la même perte au feu que pour le porphyre lui-même. Relativement à l'origine et au mode de formation de ces brèches, il importe de constater ici que celles dont la couleur est rouge ou violette ont une teneur en eau moins grande que le porphyre. Le porphyre brèche paraît être tantôt plus, tantôt moins élevé que le porphyre de Belfahy, et se trouver indifféremment soit à la limite, soit à l'intérieur de la formation.

L'examen d'un grand nombre de collections géologiques m'a fait rencontrer diverses roches qui présentent beaucoup d'analogie avec le porphyre de Belfahy ; ces roches sont décrites dans des mémoires spéciaux auxquels je dois renvoyer pour une étude plus détaillée. Je ferai remarquer seulement que le feldspath labrador n'y est pas toujours nettement séparé et en gros cristaux , comme cela a lieu pour le porphyre de Belfahy choisi pour type ; il y en a même qui paraissent former un passage du mélaphyre au basalte, et qui par leur aspect se rapprochent beaucoup de ce dernier ; mais cependant il m'a semblé qu'elles peuvent toutes être considérées comme des variétés ou comme des dégradations de la roche des Vosges. Les contrées dans lesquelles ces roches ont été observées sont la Morée , le Tyrol , l'Oural , la Norwége , les environs d'Édimbourg en Écosse , Lamberg près de Dublin , Tabago , Hirschberg dans la Hesse électorale , Rampas en Corse , le Thuringerwald (1) , Elbingerode et Ilfeld au Harz , la vallée de la Nahe aux environs de Kirn et de Wadern ainsi que plusieurs points du Palatinat et de la Bavière rhénane , Belting (2) près de Sarrebruck , Gottesberg dans la Silésie , Boston aux États-Unis (3) , enfin la Saxe où MM. Naumann et Cotta (4) signalent un mélaphyre grenu d'un gris noir éclatant qui forme un filon ayant environ 0^m,33 de puissance dans le granite de Niderspaar près Meissen

Je n'ai pas l'intention de généraliser, quant à présent, les résultats des observations qui ont été faites dans la première partie de ce mémoire sur la constitution géologique et chimique des divers mélaphyres ; cette généralisation serait du reste facile, et il est évident qu'elle résulte immédiatement de ce qui a été établi relativement à chacune de ces roches en particulier : mais , avant d'aller plus loin, je ferai observer, cependant, que quelques uns des faits constatés antérieurement acquièrent de l'importance à

(1) Voir les excellents Mémoires publiés sur les mélaphyres du Thuringerwald par MM. Credner et Cotta.

(2) Je dois la communication des échantillons de cette localité à l'obligeance de M. Pomel.

(3) Cette désignation de localité est faite d'après une étiquette du Jardin du Roi ; l'échantillon contient de grands cristaux de labrador, de la pyrite de fer et de la chaux carbonatée.

(4) Naumann et Cotta , V^e vol. de la *Description géologique de la Saxe*, p. 404.

cause des rapprochements qu'ils permettent d'établir entre les *mélaphyres* et les *basaltes*.

En effet, la base de ces deux roches est la même, c'est le feldspath *labrador*; elles contiennent en outre des minéraux communs qui sont le *pyroxène* et le fer *oxydulé*; de plus, toutes deux renferment de l'eau. Les différences qu'elles offrent tiennent surtout à la proportion plus ou moins grande des bases dans le feldspath *labrador* constituant; ainsi on peut remarquer que la soude, la potasse et l'eau entrent en proportion notable dans le *labrador* des *mélaphyres* proprement dits, tandis que relativement ces bases diminuent ou même disparaissent complètement quand la roche se rapproche des *dolerites*, des *basaltes*, et même des laves modernes; elles sont alors remplacées par de la chaux, qui devient la base dominante.

On est donc assez naturellement porté à croire qu'il peut y avoir une série de roches intermédiaires formant, tant sous le rapport de la composition chimique et minéralogique que sous le rapport de l'âge, un passage en quelque sorte insensible entre le *mélaphyre* et la *basalte*: c'est ce que des études plus complètes de minéralogie chimique pourront permettre de vérifier par la suite; mais, en tous cas, à cause de l'analogie minéralogique et chimique que présentent ces deux roches, il est bien probable que le *labrador* du *basalte* contient lui-même de l'eau de combinaison, ainsi que cela a lieu pour les *mélaphyres*. De plus, quoiqu'il y ait des *zéolithes* dans les *basaltes* et dans les autres roches auxquelles on attribue une origine ignée, est-il bien certain, comme on l'admet généralement, qu'elles entrent toujours dans la composition même de ce qu'il convient d'appeler la *pâte* de la roche? D'après ce qui a été démontré relativement aux *mélaphyres*, ces *zéolithes* peuvent se trouver aussi dans les *amygdaloïdes* et dans les cellules nombreuses qui pénètrent la *pâte* en tous sens, et qui sont tantôt visibles, tantôt, au contraire, microscopiques et invisibles.

M. Nérée Boubée lit le Mémoire suivant :

Rapport entre la nature des terres et l'ancienneté relative des alluvions dans les vallées à plusieurs étages.

Chargé par M. le marquis d'Orgein de faire une étude agricole et industrielle de son beau domaine de Guilhot, à l'occasion de la mise en vente de ce domaine, j'ai été conduit à recueillir quel-

ques observations qui intéressent autant le géologue que l'agriculteur ; et c'est à ce titre que je viens soumettre à la Société géologique la première partie de ce travail , comme renfermant quelques aperçus , nouveaux , je crois , pour la science. Ce premier chapitre a pour titre : *Des terres, bois et prairies qui forment le Domaine.*

Pour donner une idée exacte et précise de la nature des terres de Guilhot , je ne saurais mieux faire que de présenter d'une manière générale le résumé de mes observations sur l'ensemble des terres de la vallée de l'Ariège proprement dite , dans laquelle est situé ce domaine.

La vallée de l'Ariège dans laquelle est situé le domaine de Guilhot (communes de Rieux et Bénagues entre Foix et Pamiers) est comme la Seine , comme la Loire , comme la Garonne et comme la plupart des grandes vallées qui se partagent la partie cultivable et habitable du globe , une de ces vallées à plusieurs étages , dont les eaux diluviennes ont ouvert et creusé l'étage supérieur sur une largeur toujours considérable , et dans lesquelles les eaux post-diluviennes et les eaux actuelles ont ensuite formé plusieurs étages (ou terrasses latérales) de plus en plus étroits à mesure que ces eaux devenant moins abondantes se resserraient dans un lit plus restreint et plus approfondi , abandonnant à droite et à gauche l'espace beaucoup plus large qu'elles occupaient précédemment.

Le premier étage (l'étage inférieur), le dernier formé , au milieu duquel la rivière s'est creusé son lit actuel , et qu'elle vient envahir et remplir encore dans ses plus grands débordements , est toujours celui dont la terre est la plus fertile et le sol plus précieux. Ce sont presque toujours des *terres d'alluvion* , ordinairement susceptibles d'irrigation , et dont la constitution minérale est d'autant plus parfaite qu'il se trouve en amont un plus grand nombre de roches et de formations géologiques diverses , dont les débris , entraînés et mêlés ensemble par les grandes eaux , produisent au loin ces terres d'alluvion si fécondes.

A cet égard , la vallée de Foix , comme la plupart des grandes vallées qui prennent naissance dans les Pyrénées , se trouve dans les conditions les plus parfaites ; car le groupe de montagnes d'où jaillissent les sources de l'Ariège , et d'où descendent les nombreux torrents qui en font bientôt une rivière importante , offre dans son ensemble un vaste massif montagneux de plus de 80 lieues carrées de surface , et où se présentent des roches et des terrains géologiques de toute espèce , surtout des *granites* , des *gneiss* , des *micaschistes* et des *phyllades* ; des *diorites* , des *talschistes* ,

des *pegmatites*, des *eurites* et des *feldspathines*; des *grauwackes*, des *schistes argileux*, des *quarzites*, des *grès*, des *talschistes* et des *calcaires* de plusieurs âges; des *gypses*, des *argiles bigarrées* et des *marnes irisées*; des *roches pyroxéniques ferrifères*, *carbonifères*, *siliceuses*, *bitumineuses*, *alunifères*, etc., etc.; en un mot, les alluvions de l'Ariège comprenant des débris de toute espèce de roches et de toute la série géologique des terrains; condition infaillible de fécondité.

Car c'est un des principes fondamentaux de la géologie agricole, qu'une terre est d'autant plus fertile qu'elle est composée d'un plus grand nombre d'éléments minéralogiques divers, et réciproquement qu'elle est d'autant moins productive que sa composition est réduite à un plus petit nombre de substances minérales, ainsi que je l'ai établi dans ma *Géologie dans ses rapports avec l'agriculture et l'économie politique*, p. 34, 2^e édition.

Ce qui précède suffit pour expliquer comment on peut trouver, au sein des montagnes, des terres douées d'une fécondité que ne possèdent presque jamais au même degré les terres situées en pays de plaine, et notamment pour rendre raison de la fertilité générale qu'on remarque dans la plus grande partie de l'arrondissement de Pamiers.

Mais j'ai dit qu'il y a plusieurs étages dans cette belle vallée de l'Ariège; et, en effet, il suffit de parcourir les environs de Pamiers pour reconnaître : 1^o que dans leur ensemble les terres des environs se partagent entre trois niveaux ou étages principaux nettement dessinés tout le long de la vallée;

2^o Que l'étage inférieur qui longe la rivière s'élève si peu au-dessus des moyennes eaux, que, sur beaucoup de points, il est exposé à être recouvert et envahi lors des grands débordements;

3^o On reconnaît sans peine, et abstraction faite de toute théorie, que cet étage inférieur a dû être entièrement occupé par l'Ariège avant la dernière période de son décroissement; enfin, on s'assure que parfois elle se creuse un nouveau lit au milieu de cet étage inférieur, envahissant alors des propriétés qui n'avaient pas été protégées par des travaux de défense suffisants, et laissant sur la rive opposée des espaces plus ou moins vastes qui s'ajoutent gratuitement, de par la loi, à l'héritage de l'heureux riverain.

En un mot, on s'assure par ces diverses observations que l'étage inférieur de la vallée de l'Ariège est tout formé d'alluvions plus ou moins récentes, au milieu desquelles on peut retrouver et reconnaître, sous forme de cailloux roulés et de grains sableux, des échantillons de toutes les roches qui constituent les montagnes

de la haute vallée , échantillons qui deviennent en même temps la preuve matérielle et sensible des considérations théoriques précédemment exposées.

Si de cet étage inférieur on passe sur les terres plus élevées qui forment le second étage , l'étage intermédiaire , et si l'on examine le sol avec attention , on sera surpris d'y reconnaître diverses circonstances qu'on n'avait peut-être pas remarquées au premier abord. Une grande partie des cailloux qui s'y rencontrent et qui appartiennent, on le reconnaît, aux mêmes espèces de roches, qui viennent dès lors, on n'en saurait douter, des mêmes montagnes , des mêmes gisements que ceux qu'on a reconnus dans l'étage inférieur, s'y montrent néanmoins avec un caractère particulier. Plusieurs de ces roches paraissent altérées ; il y en a même un grand nombre qui sont devenues friables, et l'on y voit des blocs de granit que , par le moindre coup, on peut briser et écraser comme un tuf sans consistance, comme une roche pourrie. En un mot, les débris roulés des mêmes montagnes offrent, sur ce second étage, une physionomie toute particulière ; ils y paraissent beaucoup plus vieux , et ils y sont en proie , pour la plupart , à une décomposition manifeste. C'est qu'ils sont plus anciens, en effet, ces débris, puisqu'ils datent de l'époque où l'Ariège, beaucoup plus large, plus profonde et plus puissante que de nos jours, remplissait ce second étage en entier, au moins dans ses grandes crues, et où son lit habituel, de la largeur au moins de l'étage inférieur actuel, dépassait certainement en étendue celui qui remplit aujourd'hui la Garonne à Bordeaux.

Il en est des terres de cet étage comme des éléments géologiques du sol. Ici, comme dans l'étage inférieur, la terre se compose des mêmes débris que cet ancien sol d'alluvion ; et, en raison de leur ténuité et des influences de la culture, ces débris y ont subi une décomposition encore plus complète. Une partie des matières minérales et des sels qui entraient dans la composition de ces débris a disparu ; en sorte que la terre n'est plus d'une fertilité aussi parfaite, parce que sa composition minérale est devenue moins complexe. Toutefois on reconnaît encore dans ces terres un assez grand nombre d'éléments minéralogiques divers, et, selon qu'elles sont plus ou moins chargées d'humidité et que la décomposition y est plus ou moins avancée, elles offrent encore des sols, dont quelques uns sont d'autant plus précieux, que cette décomposition, qui s'y poursuit avec une certaine activité, fournit à la végétation un aliment très actif, savoir : les éléments alcalins, acides, salins ; qui résultent de cette décomposition, tels que la soude, la potasse,

la magnésie , la chaux , les phosphates , les sulfates , etc. , etc. , qui entrent en diverses proportions dans la composition d'une partie des matières minérales dont ces roches se trouvent formées.

On voit par là comment il se peut que , même avec une composition géologique moins complexe , certaines terres de ce second étage soient aussi productives que celles de l'étage inférieur ; mais il est à remarquer qu'à mesure que cette décomposition s'avancera , ces terres deviendront moins fertiles ; en sorte qu'après un certain nombre d'années elles se trouveront , selon l'expression vulgaire , presque totalement épuisées. Et telles sont en effet déjà , à un degré plus ou moins avancé , une partie de ces terres. Toutefois on voit qu'il sera extrêmement facile de les ranimer , de les amender , en un mot , et de les remettre en état de fécondité pendant une nouvelle et longue période d'années.

Enfin , si l'on monte sur les troisième et quatrième étages , qui sont à un niveau beaucoup plus élevé , on sera frappé de voir qu'il n'y ait plus que de gros blocs de roches quartzeuses , et plus ou guère plus du tout de granites , de pegmatites , de diorites , et de ces diverses autres roches dont on voit une si grande variété dans les étages inférieurs.

En un mot , la constitution géologique du sol est ici beaucoup plus simple minéralogiquement , bien qu'en y réfléchissant et en reconnaissant que tous ces gros cailloux sont arrondis et roulés comme ceux des autres étages , on ne puisse douter qu'ils n'aient la même origine ; qu'ils n'aient été de même charriés par les eaux , mais par ces eaux beaucoup plus abondantes , beaucoup plus puissantes qui formèrent et occupèrent tout cet ancien et vaste lit de l'Ariège , plus large que ne l'est aujourd'hui la Gironde aux approches de l'Océan.

Mais alors pourquoi n'y a-t-il sur cet étage que des cailloux quartzeux ? Pourrait-on admettre que les alluvions à cette époque choisissent leurs débris dans les montagnes , comme un géologue choisit ses échantillons ? Non , assurément , non ; et on ne saurait mettre en doute qu'à l'époque où ces grandes eaux ont pu détacher de leur gîte ces blocs quartzeux , elles n'aient arraché et entraîné pêle-mêle , comme aujourd'hui , des blocs de toute nature et de toutes les montagnes.

S'il n'y a plus sur cet étage que des blocs quartzeux , c'est que ceux-là seuls sont inaltérables et absolument indestructibles , tandis que tous les autres ont subi cette décomposition lente , cette destruction inévitable à laquelle nous avons vu , dans le deuxième étage , la plupart de ces roches maintenant soumises. Ceci démontre

au géologue que ce troisième étage est beaucoup plus ancien que le deuxième, et le deuxième plus ancien que le premier, puisque la destruction des roches décomposables est déjà terminée dans l'étage supérieur pendant que cette décomposition, qui marche à grands pas dans le second étage, est à peine commencée sur quelques blocs dans l'étage inférieur.

D'un autre côté, l'agronome va reconnaître encore ici que l'état des terres est exactement en rapport avec l'état géologique du sol.

Et en effet, les terres de cet étage supérieur sont beaucoup moins fertiles et beaucoup moins estimées que celles du premier et du deuxième étage; leur taux, dans le pays, est moindre de plus de moitié; c'est qu'elles offrent une composition minérale beaucoup plus simple; c'est qu'il n'y a plus guère de minéraux décomposables contenant de la potasse, de la soude, de la magnésie, du calcaire, etc., et qui puissent livrer à la végétation ces éléments précieux. Tout ce que ces terres possédaient jadis de semblable est presque totalement évanoui, disparu, absorbé par les milliers de plantes qui ont successivement vécu sur le sol à ses dépens, et par les eaux qui l'ont mille fois lavé et complètement lessivé (1). En un mot, ces terres sont épuisées, et on ne leur rendra leur fécondité primitive que par un amendement complet, et du reste facile à exécuter dans les conditions heureuses où elles se trouvent à cet égard.

En résumé, on voit comment les terres d'alluvion de la vallée de l'Ariège peuvent se distinguer d'une manière générale en trois classes naturelles, correspondant aux trois étages géologiques de la vallée. On voit que les terres de l'étage inférieur seront, toutes choses égales d'ailleurs, les plus fertiles et les plus durables. On voit que les terres de l'étage moyen offrent aussi des sols productifs, mais à un degré moindre, et plus variables d'une pièce à une autre, et pour une durée beaucoup moindre. On voit enfin pourquoi les terres des étages supérieurs sont, en général, beaucoup moins estimées et moins productives.

Voilà, je puis le dire, la règle générale. On conçoit, il est vrai,

(1) Je ne parle ici que des terres d'anciennes alluvions de l'étage supérieur, et non de quelques terres qui sur cet étage reposent sur des roches en place, et dont la nature est alors en rapport avec la composition de ces roches; ni de quelques terres qui longent les ruisseaux que l'on rencontre sur cet étage, terres qui sont alors de véritables alluvions modernes, et qui, en effet, sont en général extrêmement fertiles.

qu'elle admette des exceptions ; mais il sera toujours facile de s'en rendre compte. Ainsi dans l'étage inférieur, au milieu de ces terrains précieux, on trouve aussi des sols de faible valeur, par exemple des sols surchargés de galets ou qui sont même de véritables graviers, parce qu'ils résultent en effet d'une accumulation de galets non encore décomposés, par conséquent plus ou moins dénués de terre végétale, et dès lors impropres à la culture. Ailleurs ce seront des terres de nature celluleuse d'après leur constitution géologique, mais remplies d'eau, et par là rendues impropres à la culture, impropres même à être converties en prairie. Mais ne voit-on pas combien il est facile, dans l'un et l'autre cas, de corriger et amender de tels sols, et de les convertir en terres aussi productives que celles qui couvrent en général tout ce premier étage ?

Ceci posé, il va m'être facile de donner sur la nature des terres de Guilhot un aperçu exact et précis.

A l'exception de quelques champs et de quelques bois qui sont sur l'étage moyen, toutes les terres dépendant du domaine de Guilhot sont comprises dans l'étage inférieur de la vallée de l'Ariège et peuvent être indiquées, pour la plupart, comme des types de la meilleure qualité de terre qui soit dans le pays.

Toutefois quelques unes de ces terres sont mouillées, et réclament un assainissement dont l'exécution n'offrira d'ailleurs aucune difficulté. Mais, après les travaux d'assainissement, on devra jeter sur ces terres qui, en ce moment, sont acides et surchargées d'humus, une bonne proportion de chaux vive, 4 hectolitres au moins par hectare pendant cinq ou six années consécutives, et ce seront pour longtemps ensuite les meilleures terres du domaine.

Quant aux pièces qui sont sur le second étage (étage moyen de la vallée), elles sont aussi d'une bonne nature, et, à vrai dire, elles ne réclament encore aucun amendement. Toutefois il sera bon de leur donner un marnage d'ici à quelques années, et la marne qui se trouve dans le domaine, quoique plus riche en argile qu'en calcaire, suffira parfaitement pour ce sol, et d'autant qu'elle est très à portée du point où il s'agit de l'employer, car elle est dans l'escarpement qui monte du premier au second étage.

En somme, j'ai reconnu, et la géologie permet de démontrer que les terres du domaine de Guilhot sont dans des conditions magnifiques de culture, et qu'avec quelques réparations faciles et peu dispendieuses on les amènera au plus haut degré de perfection et de fécondité que les meilleurs sols puissent atteindre.

1° Au point de vue de la *géologie agricole*, cette étude dé-

montre que l'épuisement des terres, tel que les agronomes l'ont de tout temps admis sans se l'expliquer, mais que les savants ont plusieurs fois classé parmi les erreurs et les préjugés populaires, parce qu'ils ne pouvaient pas s'en rendre compte, est dans beaucoup de cas la chose la plus simple et la plus positive. On voit que cet épuisement tient surtout à la décomposition d'une partie des matières minérales qui constituent le sol; 2° que pendant tout le temps que dure cette lente décomposition minérale, la végétation en retire une alimentation active et puissante; 3° que, lorsque cette décomposition est terminée, il ne reste dans le sol que des matières inertes, incapables de fournir aux plantes des éléments de nutrition, ce qui oblige alors le cultivateur à donner à la terre des engrais beaucoup plus abondants et plus complexes, jusqu'à ce que, par un amendement géologique convenable, il rende à sa terre les éléments naturels de son ancienne fécondité.

2° Enfin, pour la *géologie pure*, cette observation démontre que nos grandes vallées n'ont pas été creusées d'un seul trait, mais bien par des causes qui ont agi à des époques très différentes, ce qui au reste vient confirmer, par une observation matérielle et palpable, toute ma théorie du creusement des vallées à plusieurs étages, telle que je l'ai présentée à l'Académie des Sciences, en 1831, et telle que je n'ai cessé depuis de la professer dans mes cours et dans mes ouvrages (voir mon *Manuel de géologie*, p. 214, 4^e édition, mon *Recueil d'itinéraires en France* (Course de Lyon à Grenay), et surtout le *Bulletin de la Société géologique*, 1^{re} série, t. IV, p. 376.

M. Frapolli donne lecture du Mémoire suivant :

Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de gypse, de dolomie et de sel gemme, par L. Frapolli.

J'ai eu l'honneur, dans la dernière séance, d'exposer à la Société la série de formations sédimentaires qui se rencontrent dans les plaines ondulées du pays subhaercynien septentrional. J'ai indiqué dans cette occasion le gisement général de leurs couches pour chaque époque géologique.

Pendant la période carbonifère, les différents groupes montagneux primitifs ou de transition émergeaient, comme des îles, du milieu des mers du nord de l'Europe. La Thuringe et les grandes plaines de l'Allemagne étaient sous les eaux. Depuis lors, il s'est déposé dans ces pays à peu près tous les terrains sédimentaires;

de nombreuses époques d'agitation successives y ont laissé leurs traces. Il en est résulté un ridement général des couches qui remplissaient les différents bassins ; et ce ridement a été proportionnel avec l'étendue des soulèvements, et avec la profondeur ou la forme des réservoirs. Nous en avons étudié les différentes circonstances dans le golfe subhærcynien, mais nous avons vu en même temps, par de rapides excursions au-delà de nos limites, qu'elles ne lui étaient pas exclusivement propres, qu'au contraire ce même mode de gisement des couches secondaires se reproduisait, à quelques modifications près, dans la Thuringe et dans tout le nord des pays germaniques.

Nous avons également vu en passant que ces formations sédimentaires postérieures aux terrains primaires renfermaient de nombreux massifs de gypses, de dolomies ou de calcaires magnésiens, et de sel gemme. Plusieurs de ces derniers dépôts acquièrent, par leur étendue et par leur multiplicité, une grande importance industrielle. Les études que j'ai été obligé de faire dans un but géologique, m'ont conduit à m'en occuper tout spécialement. Nous verrons, par la suite de ce mémoire, que sous le rapport de leur origine et sous le point de vue scientifique, leur importance n'en est pas moins grande.

Dans l'étendue de la carte géographique que j'ai exécutée, entre le Harz, le Huy et le Hackelwald, depuis Hettstaedt jusqu'à Wernigerode, les gypses se présentent en plus de vingt endroits différents et isolés. Des dolomies ou des calcaires magnésiens et des sources salées indiquant des dépôts de sel gemme les accompagnent le plus souvent ; on y rencontre aussi des anhydrites. Ces roches se trouvent répandues en égale abondance dans tout le pays de Brunswick, dans la Thuringe, et jusque dans les profondeurs des plaines septentrionales, d'où les gypses percent quelquefois sous forme de collines arrondies.

§ 1. *Gisement des gypses dans les pays qui entourent le Harz.*

On y trouve du gypse intercalé entre toutes les formations secondaires sans distinction, soit en petites masses isolées, comme généralement dans le golfe subhærcynien, soit en grands dépôts, comme en Thuringe, où on le voit affleurer sur les limites des massifs du muschelkalk et keupriques, et entourer de sa muraille abrupte tout le côté méridional des montagnes du Harz, qu'il renferme comme dans un immense croissant.

Le gypse a toujours les caractères d'un dépôt en couches ; il est

toujours stratifié, et sa stratification est toujours parallèle avec la stratification des dépôts dans lesquels il est enclavé. La direction et l'inclinaison de ses couches est toujours conforme aux lois générales de gisement qui dominent dans le pays. Elles occupent toujours la position qu'elles devraient occuper, si la roche dont elles se composent n'était point du gypse, mais bien du calcaire, et du calcaire appartenant à la formation qui le renferme. Ce n'est que dans des points très restreints que la stratification du gypse manque réellement; mais si l'on a soin de bien étudier tout un massif gypseux, on parvient presque toujours à en découvrir les traces d'un côté ou de l'autre. Lorsque cette stratification n'est pas très apparente, il faut l'attribuer soit à la grande puissance que possèdent les couches de gypse dans certains cas, ce qui fait qu'on ne peut les observer que là où la roche est suffisamment à découvert, soit à son état de fracturation, soit à son peu de dureté et à sa solubilité. Car il suffit que des masses gypseuses restent pendant quelque temps à découvert dans des carrières abandonnées, pour que les molécules du gypse les plus voisines de la surface, dissoutes par les eaux de pluie ou entraînées mécaniquement après l'enlèvement de celles qui les rattachaient à la roche mère, finissent par établir sur les parois une sorte d'enduit, fort mince à la vérité, mais qui suffit pour effacer souvent à l'extérieur jusqu'aux apparences de la stratification. Ce qui est le plus singulier, c'est une légère effervescence que cet enduit, dans quelques rares circonstances, présente au contact des acides, comme si un excès d'acide carbonique renfermé dans l'atmosphère ou dans les eaux de pluie eût pu, sous des influences qui nous sont inconnues, se substituer à une petite partie de l'acide sulfurique. Dans tous les massifs de gypse que j'ai visités, aucun excepté, j'ai pu reconnaître distinctement la stratification; partout, sur les flancs du Dorn, sur l'Asse, et près de Egelu, au milieu du Huywald et près de Sandersleben, aux abords du Harz comme sur la croupe du Sewecken, aux pieds du Kiffhäuser et dans le pays du Hanovre, j'ai pu m'assurer qu'elle est en rapport régulier avec le gisement général des couches du pays. Ma carte géologique de la contrée subharcynienne, et son explication que je me propose de publier en Allemagne, apporteront des preuves nombreuses et frappantes de ce fait fondamental.

Dans la seule partie du bassin comprise par cette carte, on voit du gypse appartenant aux formations du zechstein, du grès bigarré, du muschelkalk, des marnes irisées et de la craie. On en connaît ailleurs dans le Jura. Le gypse de ces différentes formations n'est

pas seulement caractérisé par son gisement, mais il l'est encore par son aspect minéralogique particulier. Ce *facies* ne permettrait pas, il est vrai, de distinguer deux échantillons limites expressément choisis, mais, employé sur les lieux et sur de grandes masses, peut être regardé comme un moyen de reconnaissance empirique à peu près sûr, comme une donnée à peu près certaine pour l'établissement de leur âge. Les caractères minéralogiques des différents gypses, leur couleur, leur éclat, et surtout leur structure générale et caractéristique, se rapprochent par une ressemblance marquée de ceux des calcaires des formations respectives.

De nombreuses cavernes (*schlotten*), dont les dimensions sont très variables, mais qui généralement sont plus étendues dans les gypses de la formation du zechstein que dans les autres, se trouvent répandues abondamment dans tous les gypses et dans tous les massifs. Leur forme, qui est celle d'un corridor voûté, et constitué comme par une suite de renflements arrondis, et s'étendant au loin, même à des niveaux quelquefois fort différents, au milieu de la masse, ressemble beaucoup à celle que finiraient par acquérir des fentes dans lesquelles se serait établi un courant d'eau. S'il y a une règle générale dans les dimensions de ces cavernes, c'est qu'elles sont proportionnelles avec l'ancienneté et la masse du gypse; ainsi c'est dans la formation du zechstein qu'on rencontre les plus étendues; celles de la formation du muschelkalk se rapprochent beaucoup plus de la forme de simples fentes élargies; celles du gypse crétacé ne sont presque plus que des fentes. C'est là la règle générale. Dans les parties où le gypse du zechstein, comme dans le Mannsfeld et dans les environs de Rothleberode, est rendu tout à fait schisteux par l'intercalation de nombreux feuillets de bitume, on remarque que ces feuillets sont tous en saillie, quelquefois même de 2 à 3 et 4 centimètres en dehors du reste de la masse, qui est comme érosée.

L'ensemble des caractères que présentent ces cavernes qui, en grande partie, affectent une marche horizontale ou à peu près, indique assez que leur origine n'a rien de commun avec celle du terrain lui-même, et qu'on ne saurait en aucun cas les rapprocher des cellules plus ou moins petites, quelquefois même assez grandes, qui caractérisent si généralement les rauchwackes et les calcaires dolomitiques, et qui, comme nous le verrons, sont dues à des causes toutes différentes. M. Virlet, qui s'est beaucoup occupé de la formation des cavernes, admet comme une des principales causes de leur production, les mouvements de l'écorce ter-

restre et l'érosion des eaux (1). C'est à ces deux agents que je crois devoir attribuer le creusement de ces grottes, et principalement à la facilité avec laquelle le gypse, malgré son peu de solubilité, est démolí par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans les fissures. Cette démolition, qui, comme nous l'avons indiqué plus haut, se fait en même temps par dissolution et mécaniquement, est si rapide, qu'un fort barrage construit en pierres de taille gypseuses, et que j'ai vu dans les environs de Rothleberode, était à peu près détruit, quoiqu'il ne comptât qu'environ dix-huit mois d'ancienneté. La large et profonde vallée de circonvallation qui entoure au midi les montagnes du Harz, et qui les sépare des plateaux de la Thuringe, est due pour la plus grande partie à cette action, qui s'est continuée pendant le cours des différentes périodes géologiques, qui se continue encore de nos jours et qui est assez forte et assez rapide pour rendre dangereux et précaires les établissements placés au-dessus. Les dénudations et les dépôts diluviens n'ont fait qu'y égaliser le sol et en recouvrir les aspérités après les diverses périodes et dans la mesure de leur puissance. Toute cette grande vallée est parsemée de fontis et de petits lacs ou étangs, qui ne sont dus qu'à l'éroulement partiel du sol, miné en dessous par l'empiètement des cavernes. Plusieurs de ces mares sont remplies d'eau salée, ce qui nous indique la présence du sel dans les profondeurs, qui subit, lui aussi, à plus forte raison, l'effet des eaux courantes. Le Mannsfeld, les environs de Rothleberode, de Ellrich, de Sachsa, présentent une foule d'exemples de ces phénomènes. Il n'y a que quelques années qu'une ferme entière des environs d'Ufrungen a disparu par une cause semblable dans les abîmes souterrains.

En dehors de ces propriétés générales, et qui leur sont communes à tous, les gypses de ces contrées se partagent principalement, sous le rapport de leur gisement, en deux groupes bien tranchés. Quelquefois seulement des circonstances exceptionnelles paraissent établir une espèce de passage entre ces deux groupes.

PREMIER GROUPE. — *Gypses plus récents, placés parmi les dépôts du trias dans le muschelkalk et au-dessus ou au-dessous de cette formation, et gypses du Jura et de la craie.* — Dans ces formations on voit souvent les dépôts calcaires passer au gypse dans leur partie inférieure, tandis que leur partie supérieure est entièrement constituée par du carbonate de chaux; le passage entre ces deux substances est chimiquement et minéralogiquement tranché; mais

(1) Mémoire inséré au *Bulletin*, séance du 2 mars 1833.

les lignes géologiques de contact présentent toutes sortes d'ondulations, et souvent elles traversent plusieurs couches. Quelquefois encore on ne voit dans ces gypses que des espèces d'amandes calcaires qui y sont renfermées ; dans ces cas, la stratification ou la schistosité se continue également et sans dérangements à travers ces amandes, et dans la roche encaissante ; seulement elle est plus marquée dans le calcaire que dans le gypse. Des parties d'anhydrite plus ou moins considérables, entièrement enveloppées et em-pâtées dans le gypse, s'y trouvent souvent associées.

Les gypses de ce groupe ne se suivent pas dans toute l'étendue des formations ; on ne les rencontre que dans quelques points isolés des dépôts secondaires, au bord septentrional du massif primaire hœrcynien ou bien dans les axes dénudés des rides de plissement, et quelquefois encore, lorsque ce plissement a été très fort, au fond des vallées de séparation (1). Ils y forment alors quelquefois des renflements considérables. Dans les intervalles des rides, même là où les profondes fractures des grandes vallées transversales découpent et mettent à nu toute l'étendue des formations, aucune trace de gypse n'est visible, à l'exception de quelques petits cristaux renfermés quelquefois dans les marnes du Jura ou crétacées et dans les lignites, et qui, dus d'abord à l'écho des causes générales, ont pris, suivant toute apparence, leur forme actuelle postérieurement et par des influences organiques. Cette loi du gisement des gypses récents au bord des anciennes îles primaires du Harz et de Magdeburg, et dans les axes des rides, c'est-à-dire partout où une solution de continuité de la croûte superficielle peut avoir eu lieu, partout où des fissures ont pu établir une communication de la surface avec l'intérieur, est si régulière, si constante, qu'en suivant de l'œil sur une grande carte géologique générale du pays, comme serait celle de Hoffmann, la position des petits massifs de gypse qui y sont marqués par une couleur propre, on peut en déduire avec certitude les limites de ces îles, le nombre et la marche des rides du terrain. En Thuringe, où la dislocation peu apparente du sol ne permet pas aux couches de représenter le ridement avec la même régularité, on peut suivre le gypse qui affleure autour des massifs, à la partie inférieure du muschelkalk ou des marnes irisées. En résumé, le gisement des gypses du deuxième groupe est tel qu'on ne peut se refuser d'admettre que leurs couches sont placées dans le prolongement des

(1) Ce dernier cas n'est qu'exceptionnel et bien rare. Il a lieu, par exemple, aux environs de Westdorf, près d'Aschersleben.

couches calcaires des formations respectives qu'on voit un peu plus loin , et qu'elles n'en sont que la continuation. Cette transformation dans la nature d'une même couche peut quelquefois se suivre matériellement ; elle ressort toujours de l'ensemble des conditions stratigraphiques. Dans le Huywald , au Seweckenberg près de Padeborn, sur différents points du bord septentrional du Harz, etc., ce fait se présente avec la plus grande évidence.

Le gypse le plus jeune que j'ai rencontré dans le pays est celui de Süderode et de Stecklenberg. Se développant en couches très fortement inclinées vers le sud , et s'appuyant immédiatement par leurs tranches redressées sur la grauwacke, renfermé entre le massif primaire et la ceinture à section doublement triangulaire du trias, ce gypse représente, par toutes les circonstances de son gisement, la continuation et la limite extrême des couches du plänerkalk brisées, renversées, et interrompues, par le cataclisme post-crétacé, par le soulèvement des dépôts inférieurs, et par les dénudations successives (1). Près de Stecklenberg, la carrière à gypse est ouverte dans un petit massif isolé, dont les couches supérieures, plongeant à environ 70° vers le midi, sont minces, presque schisteuses et noirâtres, tandis que la partie inférieure du dépôt consiste en une masse blanchâtre tirant un peu sur l'azur, opaque, et à grain fin, et ressemblant assez, par son facies, à la craie des couches épaisses inférieures du plänerkalk, qui, dans son état naturel, est souvent surmonté par des couches marneuses, se rapprochant assez, par leur aspect général, des couches noirâtres que nous venons d'indiquer. Dans cette masse inférieure, on voit répandus assez fréquemment, mais sans ordre établi, des noyaux d'une substance brune et molle comme de la stéatite, semblables, par leur forme, par leurs structure et cassure, et par le mode de leur gisement, aux silex qu'on trouve à quelques centaines de mètres plus loin, également répandus dans le pläner, où ils ont très souvent remplacé des polypiers du genre des *Seyphia*. La ressemblance dans la structure de ces corps va si loin, qu'autour de tous les noyaux renfermés dans le gypse on remarque cette même auréole d'un blanc de lait et à texture lâche, qui caractérise les silex de tous les terrains, et que l'on sait être de la silice à un état moléculaire différent ; mais, comme tout le reste du noyau, cette enveloppe n'a ici qu'une dureté très faible. La seule dissemblance

(1) Topographie géologique des collines subhærcyniennes. (Voyez p. 727 du *Bulletin* de cette année, séance du 3 mai, et la petite coupe qui est jointe au même Mémoire.)

qu'on trouve entre les véritables silex et ces corps est , en dehors de la dureté , dans l'éclat ; les silex sont transparents ou translucides ; ceux-ci sont opaques et leur éclat est mat. Une analyse soignée de la matière de ces noyaux , exécutée dans le laboratoire et sous les yeux du célèbre Henri Rose , a donné une formule analogue à celle de la stéatite. Les substances élémentaires s'y trouvent combinées dans les proportions suivantes :

Magnésie.	30,976
Oxidule de fer. . . .	0,639
Silice.	62,964
Carbone.	4,083
	98,662

Composition qui est extrêmement remarquable , surtout si l'on a égard à ce qu'une telle quantité de silice et de magnésie se trouve dans des corps complètement isolés au milieu d'un gypse très pur, et qui ne renferme à peu près de commun avec eux que le carbone. D'après les réflexions de M. Rose , ce carbone qui les colore provient d'une certaine quantité de bitume, et la coloration disparaît promptement par l'action du feu. Des noyaux analogues sont également parsemés dans la masse du gypse de Süderode et de Gernrode , qui sont placés sur la même ligne que celui de Stecklenberg (1).

J'ai trouvé , dans ce même gypse de Stecklenberg , deux échantillons de corps entièrement composés de sulfate de chaux hydraté, mais ayant des dimensions et des formes parfaitement semblables à celles des *Spatangus* , généralement un peu écrasés , qu'on rencontre abondamment dans le calcaire crétacé (*Pläner-Kalk*), au-delà de l'espèce de coin triasique qui est venu briser la continuité du dépôt. Je possède ces deux échantillons , que j'ai abattus moi-même du milieu de la masse inférieure. D'autres traces de ces mêmes corps étaient clairement visibles sur la paroi du gypse lors

(1) Des noyaux pareils, mais roulés et généralement en fragments à angles émoussés, se trouvent en même temps que des petits galets de gypse à la partie supérieure de la même carrière de Stecklenberg et dans d'autres endroits, dans le limon (*lehm*) appartenant à l'un des terrains meubles qui recouvrent le pays. Il est inutile de dire qu'ils ne sont pas en place.

Ce n'est pas, du reste, la première fois qu'on signale des faits analogues. Freiesleben en avait indiqué l'existence, pour d'autres localités, il est vrai, il y a longtemps.

de ma première visite. Mais ils ne doivent pas s'y trouver très fréquemment ; car y étant revenu plusieurs fois par la suite , il ne m'a plus été donné d'en apercevoir.

SECOND GROUPE. — *Gypses plus anciens appartenant à la formation du zechstein.* — D'après des plans de mines du Mannsfeld ; ils sont, dans ce pays, régulièrement interstratifiés entre des calcaires et des dolomies auxquelles roches ils passent transgressivement et comme si c'étaient des couches alternantes d'argile et de grès. Ces gypses ainsi séparés d'une manière tranchée des dépôts qui les encaissent, paraissent s'étendre sans interruption sous forme de larges lentilles à la manière d'un grand sédiment neptunien parfaitement développé et régulier, dans le Mannsfeld et sous les massifs triasiques de la Thuringe, tout aussi bien que dans les profondeurs du pays, entre le Harz et le plateau de Magdeburg. Ainsi que le calcaire bitumineux du zechstein, le sel et les *rauchwackes* magnésiennes qui les accompagnent, et avec lesquels leurs lentilles se trouvent comme enchevêtrées, sont placés au-dessus des minces bandes de schistes cuivreux qui recouvrent le rothliegendes, et qui sont remplies d'empreintes de poissons ayant succombé apparemment en grande quantité à une époque donnée. Pas plus que ces roches qui leur sont associées, ils ne renferment, à ce que j'ai pu apprendre, aucune trace de corps organisés fossiles ; c'est même cette circonstance qui avait fait donner à l'ensemble de ces dépôts le nom de *pénéen* (1). Les gypses de zechstein sont généralement marbrés en blanc bleuâtre ou noirâtre par des veines bitumineuses se fondant dans la masse, et quelquefois le bitume s'y est concentré en de nombreux feuillets qui les rendent schisteux dans le sens de la stratification ; c'est ce qui a lieu notamment au bord méridional du Harz, là où se développe cette grande ceinture gypseuse qui, par les conditions toutes spéciales de sa position, paraît participer aux caractères de ce groupe et du suivant.

(1) Ce nom, remplacé en Angleterre par celui de *système magnésifère*, qui ne désignait que l'ensemble des formations du zechstein, et qui n'était fondé que sur une propriété locale, n'a pu se soutenir lorsqu'en Russie MM. de Verneuil et Murchison ont trouvé des terrains analogues, mais très riches en fossiles, et ne présentant aucunement les mêmes circonstances. Dès lors le nom de *pénéen*, qu'on avait voulu généraliser à tout le terrain, est tombé ; ceux de *zechstein*, de *formation magnésienne*, et de *rothliegendes* n'ont plus indiqué que des subdivisions, et tout le système a reçu le nom de *terrain permien*.

§ 2. *Quelle est la nature géologique et l'origine présumable des différents gypses subhærcyniens? Théorie de leur formation.*

La manière d'être des gypses que nous venons d'étudier, leur stratification constante et constamment conforme aux lois du gisement général, leur intercalation toujours régulière parmi les formations de sédiment, éloignent toute idée qui pourrait leur faire attribuer, dès l'origine, une nature complètement étrangère à ces derniers dépôts. En vérité, après de tels faits on ne sait comprendre comment un géologue plein de génie et un véritable praticien, feu Hoffmann, trop tôt enlevé à la science qu'il avait illustrée, a pu soutenir que le gypse n'était jamais stratifié, mais que c'était une roche plutonienne arrivée à la surface par soulèvement, de l'intérieur de la terre. Et pourtant il avait étudié ces mêmes gypses et il s'était surtout fondé sur la manière d'être des gypses récents ! Exemple remarquable des erreurs auxquelles une idée fortement préconçue peut conduire les esprits, même les plus éclairés, et les observateurs les plus habiles !

Gypses plus récents du premier groupe. — Que si, d'un autre côté, l'on réfléchit sur les circonstances qui accompagnent la présence des gypses du groupe le plus récent au nord du Harz ; que si l'on observe son passage aux couches calcaires qui l'entourent, et dont il n'est souvent que le prolongement ; si l'on songe que le gypse de ces formations ne se rencontre qu'à la limite la plus immédiate du Harz primaire, ou bien là où les couches des sédiments calcaires approchent des axes de relèvement des rides, et partout où il a pu se former des fentes dans le sol, où une communication avec l'intérieur était possible ; que très souvent la partie inférieure d'un dépôt est complètement en gypse, tandis que la partie supérieure est encore en calcaire ; si l'on se rappelle l'aspect particulier et caractéristique de chaque gypse, et les rapports de ce facies avec la structure habituelle du calcaire des formations respectives ; si l'on n'oublie point ces noyaux singuliers qui, par leurs propriétés et par leur gisement, sont bien évidemment des anciens silex transformés en une nouvelle combinaison par l'addition d'autres éléments ; si l'on se représente enfin ces corps spatangiformes, ces débris de têts calcaires d'autrefois, changés en gypse, et se trouvant dans des couches qui, par leurs caractères stratigraphiques, appartiennent à la craie reposant plus loin et qui les renferme encore en abondance..... *l'origine métamorphique de ces roches devient un axiome clair et incontestable.*

Après tout cela, et après ce qu'en ont dit plusieurs d'entre les maîtres de la science, l'on croit rêver en songeant que, de nos jours encore, quelques géologues, et même des personnes d'un mérite très élevé, ne voyant ces dépôts que dans leurs détails, considèrent les gypses du nord de l'Allemagne, les uns, comme étant un sédiment purement neptunien, les autres, comme une roche plutonienne; les comparant à une série de piliers qui, sortis à l'état pâteux de l'intérieur de la terre, auraient redressé les couches environnantes.

Il est donc vrai, à ne plus en douter, qu'en premier lieu, les gypses récents de notre pays ont été autrefois des calcaires bien et dûment déposés dans la profondeur de mers où des corps organiques ont pu vivre, et que, ainsi que le prouve la présence des silex métamorphosés, ces calcaires étaient déjà déposés et parfaitement solidifiés; car, d'après l'aspect de ces corps siliciformes, leur premier changement en silex a dû être complètement achevé et développé lorsque le second a commencé; qu'en second lieu, ce métamorphisme des couches calcaires en voisinage des fentes de la croûte terrestre, sur la limite extrême des différents bassins, a dû s'opérer par l'influence d'une substance quelconque sortie de l'intérieur pendant les bouleversements d'une époque d'agitation postérieure, et que d'après ce qui résulte de l'ensemble du gisement général des terrains, ce cataclisme et ces changements sont arrivés dans ces pays après la fin de la période crétacée.

Les gypses de ce groupe seraient donc le produit d'un métamorphisme *par la voie sèche*, s'étant fait sur des couches déjà solidifiées et très probablement émergées. La vérité de cette proposition devient encore plus évidente si l'on observe que, par suite des lois d'après lesquelles se fait le relèvement d'un bassin, en même temps que les couches qu'il renferme se plissent et forment des rides, les parties sous-jacentes de l'écorce terrestre sont obligées de se fracturer, et peuvent même en être détachées. Les substances volatiles ou gazeuses, dégagées par le refroidissement des couches du bain intérieur, ont pu donc arriver facilement de cette manière jusqu'à atteindre la surface inférieure et convexe des formations plissées, par lesquelles, lorsqu'elles étaient imperméables aux gaz, ces substances ont été amenées, comme sous des enveloppes de cheminée, jusqu'aux ouvertures extérieures à la limite des massifs de transition, ou bien aux fentes qui, dans les axes des rides, s'étaient ouvertes par suite du brisement dû à la quasi-rigidité des couches plissées.

Les conditions géologiques rendent donc, à mon avis, l'origine

métamorphique de ce groupe de gypses, par des émanations de l'intérieur, tout à fait incontestable; nous allons examiner s'il y a moyen de se rendre compte de la manière dont le changement s'est opéré. Nous avons un fait, tâchons de l'expliquer. Le premier restera, il est l'expression de la nature; les hypothèses par lesquelles nous cherchons à l'éclaircir sont à prendre ou à laisser; elles sont tout simplement l'expression de notre opinion propre.

La transformation du calcaire en gypse par une influence prenant sa source dans les effets généraux de la chaleur centrale peut s'expliquer chimiquement de plusieurs manières. Berzélius, ce géant de la terre scandinave, ce génie profond et bienfaisant de la Suède, dont toutes les nations lui sont jalouses, me disait un jour, dans un de ces entretiens intimes où il lui plaît de se mettre au niveau des plus humbles adeptes: « Donnez-nous une substance » renfermant du soufre, admettez l'arrivée de vapeurs de soufre, » sulfureuses ou sulfhydriques....., admettez la présence du calcaire, et de l'eau à la surface ou dans l'atmosphère, et nous aurons toujours du gypse avec la plus grande facilité. » Parmi ces différentes explications, j'en ai choisi une, et j'en ai émis la première idée dans une note allemande qui a été insérée dans les *Annales de Poggendorff* (1). L'abondance des vapeurs d'eau qui se dégagent des volcans et des laves, et qui fait supposer l'existence de l'oxygène et de l'hydrogène en dissolution dans les matières du bain intérieur; l'in vraisemblance et les inconvénients que présenterait l'admission de l'acide sulfhydrique comme cause originaire des dépôts de gypse lorsqu'ils sont accompagnés de sel marin (2); la grande stabilité de l'acide sulfureux, propriété qui était bien nécessaire pour que le phénomène pût s'opérer facilement au milieu de la haute température qui a dû régner dans ces crevasses de l'abîme, m'ont fait adopter ce dernier corps comme agent principal de la gypsification.

Quelques géologues ont mis en doute la production de l'acide sulfureux par les volcans actuels; mais, outre que cette circon-

(1) T. LXIX, p. 481, 4^e division de 1846.

(2) On connaît la promptitude avec laquelle le chlore décompose l'acide sulfhydrique en produisant un dépôt de soufre. Nous verrons plus tard que lorsque le gypse est accompagné par le sel gemme et par les calcaires magnésiens, il a dû y avoir du chlore mis en liberté à l'époque de sa formation. Dans ce cas, il ne se serait donc point formé de gypse, mais tout simplement un dépôt de soufre. Or, c'est précisément le soufre qui, dans les gypses du zechstein qui sont toujours associés au sel, se fait remarquer par son absence.

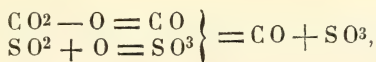
stance, si cela était réellement, n'impliquerait aucune impossibilité à ce qu'il s'en soit dégagé autrefois, car ce ne serait point la première ni la dernière substance dont l'émission ne se reproduit plus de nos jours; il n'y a pas de fait en géologie qui me paraisse mieux établi que celui-ci. On sait, en effet, que les vapeurs d'eau, le gaz chlorhydrique et les acides sulfureux et sulhydrique sont les principales substances gazeuses qui émanent des volcans, et que ces deux derniers dominent alternativement dans les éruptions. Ce fait a été encore tout nouvellement constaté par un des savants les plus distingués de l'Allemagne, M. de Waltershausen, qui m'a dit avoir observé, pendant son long séjour autour de l'Etna, l'émission d'abondantes vapeurs d'acide sulfureux dans plusieurs localités de ce terrain volcanique. Les gaz produits par les volcans sont d'ailleurs très variables. On sait, par exemple, que Humboldt et M. Boussingault n'ont trouvé aucune trace d'acide hydrochlorique ni de sel gemme dans les volcans des Cordillères et au pic de Ténériffe; tandis que, d'après M. Abich, ce sel se dépose en petite quantité au Vésuve et à l'Etna, et qu'il est très abondant et accompagné d'acide hydrochlorique dans le cratère de Vulcano. Ici, l'acide sulfureux n'y serait qu'en très petite quantité et accidentellement, tandis que, comme nous avons vu, il paraît très abondant à l'Etna, et qu'il ne s'en dégageait point du Vésuve lorsque M. Girard, de Berlin, a visité ce volcan. Ce même gaz semble également être assez commun dans certains cratères d'Amérique, car Humboldt l'a observé sortir violemment de la crevasse du volcan de Puracé (1). C'est d'ailleurs chose connue que le dégagement d'un gaz donné se fait, dans un seul et même volcan, par périodes irrégulières et intermittentes.

Nous supposons donc que des vapeurs abondantes de gaz sulfureux, ayant une très haute température, et rampant au-dessous des couches imperméables et recourbées du fond des bassins de plissement, soient arrivées jusqu'au contact des tranches calcaires qui formaient les abords des fentes récemment ouvertes, et encombrées dans leur partie supérieure par l'écroulement des matériaux. Ces vapeurs auraient remplacé l'acide carbonique des calcaires, dont la combinaison est si peu stable; leur transformation en acide sulfurique aurait eu lieu aux dépens de celui que nous venons de nommer. Gêné par sa tendance à s'échapper par la puissance de la pression qui le maintenait malgré la chaleur, l'acide carbonique, en présence d'une base qui lui échappait et d'un acide qui récla-

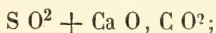
(1) *Ann. de chim.*, 1^{re} série, t. XXVII, p. 443.

maît d'être propre à s'en emparer, contraint par la pression, par la base, par l'acide rival, par la température peu convenable à son organisation, se voyait forcé de céder à son compétiteur une partie de son oxygène, heureux de pouvoir s'échapper à l'état d'oxide de carbone lorsque la force de combinaison ne s'ajoutait plus à la pression pour le retenir.

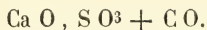
Les formules suivantes représentent la transformation que nous venons d'indiquer :



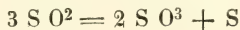
et en définitive, nous avons avant la métamorphose :



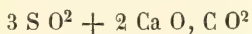
nous avons après :



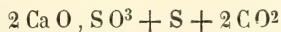
Mais l'acidification a pu aussi se faire exceptionnellement et peut-être dans des endroits où l'acide carbonique avait été déjà chassé par la chaleur, aux dépens de l'acide sulfureux lui-même ; c'est du moins ce à quoi portent à conclure les grumeaux de soufre qu'on trouve parfois, quoique rarement, renfermés au milieu de ce gypse, et dont M. F.-L. Haussmann, minéralogiste très distingué et fils du savant de Göttingue, a trouvé de beaux échantillons. Il est arrivé dans ce cas que trois molécules d'acide sulfureux se sont décomposées pour donner lieu à deux molécules d'acide sulfurique et à une molécule de soufre (1).



Nous avons avant :



Nous avons après :



(1) M. Axel Erdman, de Stockholm, me rappelait à ce propos que lorsqu'on laisse pendant longtemps de l'acide sulfureux en contact avec de l'eau distillée, il se produit non seulement de l'acide sulfurique, mais qu'il se fait en même temps un petit dépôt de soufre. C'est un cas analogue; la base est là, elle veut se marier; elle dit à l'acide : Transforme-toi, complète-toi, afin que tu puisses t'unir à moi; et l'acide s'exécute.

Il ne faut pas oublier toutefois que l'action simultanée de la chaleur et d'un grand nombre de corps simples peut décomposer l'acide sulfureux ; que l'hydrogène et le carbone, par exemple, agissent sur lui, même au-dessous de la chaleur rouge ; qu'il ne serait donc pas improbable que les petits dépôts de combustibles végétaux ou quelques parties du bitume disséminé dans les roches aient pu, lors du métamorphisme par la voie sèche, et dans des endroits soumis à une haute température, être remplacés par du soufre (1).

Les noyaux et les parties en anhydrite que renferment souvent les masses de ces gypses du deuxième groupe nous montrent assez qu'ils n'ont pas été formés tout d'abord par la voie humide, et que l'agent gypsogène n'a pu produire par lui-même que du sulfate anhydre. L'hydratation a pu avoir lieu de deux manières, soit immédiatement par l'intervention des eaux superficielles qui peuvent avoir pénétré à l'époque même du métamorphisme, soit plus tard par une transformation lente de l'anhydrite en gypse s'avancant de la surface vers l'intérieur, au moyen de l'humidité de l'atmosphère et sous l'empire de circonstances qui ne nous sont pas complètement connues (2). L'existence de cristaux prismatiques

(1) Ce que nous venons de dire là ne peut s'appliquer qu'aux petits nids de soufre qui se trouvent renfermés dans les masses gypseuses. Les grands dépôts de cette substance, tels que ceux de la Sicile, ainsi que Humboldt l'a indiqué pour des dépôts ignés actuels de l'Amérique, paraissent bien plutôt être le résultat de la réaction directe des émanations terrestres entre elles. Aussi c'est aux environs des volcans, là où il se dégageait en même temps de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique, que ces dépôts sont le plus abondants. Nous citerons à ce sujet un fait observé près de l'Etna par M. de Waltershausen, qui prouve assez que ce métamorphisme du calcaire en gypse, par la voie sèche, n'est pas une chose si extraordinaire ni exclusive aux périodes éloignées de nous : « La formation du soufre, m'écrivait-il, s'élève du milieu du » terrain tertiaire de Caltanissetta, Girgenti et Cattolica. Les calcaires » de ce terrain sont souvent changés en gypse, et ce gypse est la con- » tinuation des couches calcaires. Le gypse est en outre traversé par » des filons de soufre ; ce qui se voit très fréquemment près de Cattoli- » ca, et dans différentes mines de Girgenti. »

(2) Il est difficile de constater cette transformation par des expériences directes ; car lorsque nous prenons de l'anhydrite en morceaux ou même en poudre, et que nous la laissons exposée à l'humidité de l'atmosphère, elle n'est nullement attaquée, pas même dans un temps très long. C'est qu'il arrive ici ce qui est très commun lorsqu'il s'agit de la décomposition des roches, comme, par exemple, des granites, que tant que ces masses sont attachées à la roche mère, la décomposi-

droits, dans lesquels on peut voir clairement un passage graduel du gypse qui en forme la partie extérieure à l'anhydrite dont se compose le noyau, me paraît donner à ce fait toute la certitude désirable (1).

Les renflements parsemés de distance en distance, qui rendent irrégulières les rides du terrain dans le golfe subhærcynien, et qui en font comme de longues séries de protubérances renfermant quelquefois des cirques; ceux qui constituent, par exemple, les bosses du Seweckenberg, du Hackel, du Huy, du grand Fallenstein, de l'Asse, etc., sont dus à la transformation du calcaire en anhydrite et à cette hydratation; ils ont été produits après la formation des rides, et ce sont des espèces d'accidents locaux qui ne dépendent point directement des mouvements généraux de l'écorce (2).

tion progresse avec une rapidité beaucoup plus grande, et que lorsqu'on les isole du contact de la terre, elle s'arrête brusquement.

(4) Ce fait, que j'avais observé sur des cristaux appartenant à l'École des mines de Paris, m'est confirmé par M. Hugard, qui m'a assuré que le cabinet de la Sorbonne en possède également.

Le mélange d'anhydrite et de gypse, prouvé par les analyses de M. Stromeyer, aurait pu être expliqué par l'insuffisance de la quantité d'eau présente au moment de la gypsification. Mais ce dernier phénomène de cristaux ayant les formes de l'anhydrite, et qui ont commencé leur transformation par la surface, ne me paraît pouvoir être interprété que par l'hydratation postérieure.

Cette même hydratation progressive de l'anhydrite s'observe en grand près de Bex. Elle n'a pas échappé à M. Élie de Beaumont, qui, dans sa notice sur les salines de ce pays, en 1824, décrivait ce gisement de la manière suivante: « Près de Bex, on trouve dans le calcaire deux couches courtes, et d'une épaisseur considérable, d'anhydrite saccharoïde, qui, près des surfaces exposées à l'air, est transformée en gypse, et qui, en quelques points, est imprégnée de muriate de soude, et contient même des petites masses de sel gemme, quelquefois fibreux. » On ne peut s'empêcher de reconnaître, à ces lignes, le jeune observateur décrivant avec une exactitude scrupuleuse des dépôts qui, dès lors, lui paraissaient anormaux, mais qui, en même temps, voulait s'abstenir soigneusement de toute idée théorique prématurée.

(2) M. Élie de Beaumont, appliquant à cette question la méthode rigoureuse dont il a doué la géologie, a indiqué la cause et calculé l'étendue de ce gonflement, qui est la suite de l'épigénie et de l'hydratation, et qui s'ajoute aux autres considérations pour venir confirmer par le fait l'hypothèse de l'origine métamorphique:

« L'épigénie, à laquelle peut être attribuée l'anhydrite, dit-il, consiste en ce que, dans tous les atomes dont se composait une masse calcaire,

Gypses plus anciens du deuxième groupe. — La stratification parallèle de ce genre de gypses intercalés en grandes lentilles, mais régulièrement dans les formations sédimentaires, le développement de leurs dépôts dans la Thuringe et dans le Mansfeld, où ils paraissent s'étendre en lentilles entre des couches calcaires ou dolomitiques sur toute la surface du bassin, ne permet pas de les attribuer à un métamorphisme postérieur et par voie sèche des couches calcaires. Ces gypses ne paraissent point renfermer naturellement d'anhydrite; si on trouve de cette substance dans la ceinture hœrcynienne du midi, comme près de Lauterberg, par exemple, c'est que là il y a eu action complexe. Leur stratification

» l'atome d'acide carbonique a été remplacé par un atome d'acide sulfurique, de sorte que chaque atome $\text{Ca } \ddot{\text{C}}$ de carbonate de chaux dont le poids était 632,456 est devenu un atome de sulfate de chaux $\text{Ca } \ddot{\text{S}}$, pesant 857,484. De là il résulte que chaque mètre cube de calcaire, dont le poids est de 2750 kilogrammes, aura produit 3727 kilogrammes d'anhydrite. Or, comme la pesanteur spécifique de l'anhydrite est 2,9, 3727 kilogrammes de cette substance occuperont un volume de $4^{\text{m}},2852$. Ainsi l'hypothèse de l'épigénie entraîne, comme conséquence, celle d'un gonflement dans le rapport de 4 à $4,2852$, ou de $\frac{285}{1000}$. La congélation de l'eau est accompagnée d'un gonflement de $\frac{75}{1000}$ seulement, et ce gonflement suffit pour faire crever les vases les plus solides. Le gonflement, presque quatre fois aussi considérable d'un calcaire changé en anhydrite, doit de même avoir fait éclater et avoir soulevé les parties superposées de l'écorce terrestre, circonstance qui s'accorde de la manière la plus frappante avec le gisement de l'anhydrite en amas des Alpes et des Pyrénées, qui occupe généralement des centres de dislocation plus ou moins complètement analogues à des cratères de soulèvement.

» Que si un atome de calcaire est changé en un atome de gypse hydraté $\text{Ca } \ddot{\text{S}} + 2 \text{ H}$, qui pèse 1082,443, il doit en résulter un gonflement bien plus grand encore. La pesanteur spécifique du gypse étant 2,332, un mètre cube de calcaire, qui pèse 2750 kilogrammes, donnera 4705 kilogrammes de gypse, qui occuperont un volume de $2^{\text{m}},0177$; ainsi le gonflement sera de plus de moitié. Ce résultat est également en accord avec la position ordinaire des gypses des Alpes et des Pyrénées, dans des centres de dislocation, et même avec celui des gypses des marnes irisées, dont les amas se présentent généralement avec des formes et des positions indiquant une sorte de force éruptive qui, du reste, pourrait déjà résulter de la seule introduction de l'eau dans de l'anhydrite contemporaine du terrain. » (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. VIII, séance du 6 mai 1837, et *Mém. pour servir à une descript. géol. de la France*, t. I, p. 148.)

est en même temps plutôt marquée par la position du dépôt et par la schistosité que par des véritables couches, ou du moins elles sont si puissantes qu'on a beaucoup de peine à les reconnaître. Ces derniers faits, et surtout les circonstances nombreuses de gisement que nous avons indiquées plus haut, s'accordent beaucoup mieux avec l'idée d'une production contemporaine à leur dépôt au fond des mers. Car, si nous supposons que des fentes se trouvaient au fond de l'ancienne mer du zechstein, et que de ces fentes il sortait du gaz sulfureux; que ce gaz avait le pouvoir de former un précipité de gypse; que ce précipité a fini par boucher les fissures du sol, et qu'à une époque donnée ces soupiraux, par suite de nouveaux mouvements de la croûte terrestre, se sont réouverts, la stratification presque régulière et alternante des gypses ne nous paraîtra plus extraordinaire.

Ce mode de formation *par la voie humide* se conçoit du reste encore plus facilement que celui par la voie sèche. Lorsqu'on ajoute de l'acide sulfurique en excès dans une dissolution de carbonate de chaux, il se fait un précipité, et l'acide carbonique est mis en liberté; cette action est beaucoup plus énergique lorsqu'il s'agit tout simplement d'une dissolution d'oxyde de calcium, et elle peut être encore singulièrement favorisée par la présence ou par l'intervention d'autres éléments. Du carbonate de chaux se trouve en dissolution dans presque toutes les eaux; il s'en trouvait dans les eaux de cette époque, et même, à l'aide d'une plus grande quantité d'acide carbonique, probablement en plus grande abondance qu'aujourd'hui. Il a pu encore s'en trouver tout d'abord formant le test de mollusques qui devaient bientôt périr, ou les carapaces de milliards d'infusoires qui, tant qu'il n'y avait pas d'exhalaisons délétères, ont dû habiter ces anciennes mers, comme ils sont venus peupler les mers crétacées, où le célèbre Ehrenberg nous les a fait connaître. L'acide sulfureux, arrivant de l'intérieur de la terre, se transformait au même moment, par le contact de l'eau et en présence de l'oxygène qu'elle tenait en dissolution en acide sulfurique. La mise en liberté d'une quantité proportionnelle d'acide carbonique et la formation immédiate d'un précipité de gypse en étaient les suites naturelles et nécessaires. Nous verrons plus bas que cette action a dû être singulièrement favorisée par la présence de plusieurs autres substances élémentaires. L'absence à peu près absolue de fossiles qu'on remarque dans les gypses ainsi que dans toute la formation du zechstein, vient s'ajouter aux autres circonstances qui donnent à notre hypothèse de l'émission du gaz sulfureux dans les profondeurs des anciennes mers une

grande vraisemblance. Dès la première apparition de ce gaz, l'organisation a dû disparaître (1).

Sur les pentes méridionales du Harz et sur tout le pourtour de ces montagnes, comme dans le pays du Mansfeld ou dans les axes des rides, et partout où le nouvel élargissement post-crétacé des souspiraux a permis aux émanations métamorphosantes d'arriver encore une fois jusqu'à la surface, cette action récente paraît avoir exercé, elle aussi, son influence sur les formations permienues. Dans ces cas spéciaux, le métamorphisme par la voie sèche s'est ajouté au métamorphisme par la voie humide; alors les couches du zechstein proprement dit ont été elles-mêmes partiellement attaquées, et les limites de ce dépôt et du gypse qui lui est subordonné deviennent indécises et ondulées (2).

Outre ces deux groupes de gypses, il y a encore dans le pays des gypses fibreux, transparents ou colorés, répandus en grande abondance entre les couches des marnes irisées ou dans les fentes qui les traversent; et des gypses cristallisés, soit confusément à grandes parties, soit en beaux fers de lance remplissant des fentes ou des petites cavernes dans les masses gypseuses; enfin du gypse en petits cristaux isolés dans les argiles jurassiques ou crétacées, ou qui se développe en petites roses sur la surface des lignites pyriteuses exposées à l'air. La nature, la position et les circonstances qui accom-

(1) Il est vrai que Humboldt a trouvé que le sel peut produire, par sa seule concentration dans les eaux, un effet semblable; car il chasse l'air qu'elles contenaient, et les poissons finissent par ne plus pouvoir respirer (*Ann. de chim. et de phys.*, t. XII, p. 300. 1819); mais ce n'est pas à cette action lente qu'on peut attribuer la destruction immédiate d'une quantité de poissons aussi grande que celle dont on voit les débris dans les schistes cuivreux, et la cessation au même instant de toute vie animale dans ces mers.

(2) Toute la Thuringe paraît avoir subi, avec le reste du nord de l'Allemagne, le grand mouvement post-crétacé; aussi les calcaires des couches triasiques y sont-ils attaqués, mais là seulement où les gaz étaient conduits par des fentes et retenus par la pression d'un toit non perméable. Les gypses se sont donc toujours développés, soit à la partie inférieure du muschelkalk, soit à la partie inférieure des keupers. Après avoir traversé le grès bigarré, ils se répandaient sous le muschelkalk, et l'ayant traversé à son tour par quelques fentes, ils en faisaient de même sous les marnes irisées. Cette circonstance que la partie supérieure du muschelkalk n'est attaquée en général que là où elle est recouverte par le dépôt marneux qui vient après, nous prouve que la dénudation de ce pays était déjà faite en grande partie lors du mouvement des Pyrénées.

pagnent le gisement de ces gypses, leur assignent une origine secondaire au milieu des dépôts déjà formés, et par des causes dont l'action peut, en grande partie, se continuer de nos jours. Ce sont, pour la plupart, des productions dues au jeu régulier des éléments pendant les périodes de tranquillité, et dont nous n'avons pas à nous occuper pour le moment.

§ 3. *Gisement et origine présumable des dolomies du pays subhærcynien.*

Les *dolomies*, et plus souvent les *calcaires* plus ou moins *magnésiens*, accompagnent les gypses dans toutes leurs phases. D'après les plans des mines du Mannsfeld, la rauchwacke et les cendres dolomitiques se trouvent interstratifiées avec des calcaires au-dessus ou au-dessous des gypses *permien*s d'origine aqueuse. Elles y forment de vastes dépôts et reparaissent au loin dans les pays environnants. On les trouve également accompagnant les *gypses récents* et leur faisant passage, mais en petites masses, au bord septentrional du Harz et dans plusieurs points des axes des rides. Comme les gypses, les *calcaires magnésiens* des différents âges se distinguent par un facies particulier qui se rapproche de celui des calcaires des formations respectives. Ils sont presque toujours percés par un grand nombre de cellules, et portent ainsi les traces du passage des substances volatiles. La stratification de ces roches, lorsqu'elles accompagnent le gypse produit par la voie sèche, n'est pas toujours bien distincte; mais leur gisement ne permet pas de douter de leur passage au gypse et au calcaire pur de la formation à laquelle ils appartiennent. Cependant cette stratification est quelquefois très prononcée; cela se voit notamment au Seweckenberg, où, étant avec M. Gustave Rose, j'ai pu remarquer à peu de mètres de distance la suite des mêmes couches minces ondulées qui d'abord étaient en gypse, et plus loin se changeaient en calcaire magnésien et en muschelkalk pur.

D'après les faits que nous venons de décrire, on l'a compris, nous sommes portés à attribuer aux dolomies et aux calcaires magnésiens une origine métamorphique analogue à celle des gypses. Mais nous avons la preuve matérielle de cette hypothèse. Les calcaires magnésiens sont souvent fragmentaires, ce qui est encore en relation avec ce mode d'origine que nous leur assignons. Or, il arrive que des fois, comme dans le petit massif de calcaire magnésien crétacé qui surmonte le gypse entre Süderode et Gernrode, tout près de l'enceinte des jardins de cette dernière ville, les bords

des fragments qui limitent les fentes sont en calcaire magnésien très cellulaire, brun et hérissé de petits cristaux rhomboédriques, tandis que le noyau de ces mêmes fragments est en calcaire pur; ce dernier, à une légère teinte jaunâtre près, ressemble en tous points au calcaire crétacé quelque peu siliceux du même étage, qu'on voit à quelque distance dans la plaine, et qui ne renferme pas la moindre parcelle de magnésie. La transformation est dans ce point tellement avancée, que toute trace de stratification en a été effacée. M. Gustave Rose, à qui je montrais ces faits, ne pouvait se défendre de l'étonnement en voyant combien tout cela était évident. Des analyses de cette roche, également exécutées dans le laboratoire et sous la direction de son illustre frère, ont donné :

N° 1. *Calcaire crayeux jaunâtre de Süderode formant le centre des fragments.*

Carbonate de chaux. . .	$\text{Ca } \ddot{\text{C}} =$	88,760
Silicate de chaux. . .	$\text{Ca } \ddot{\text{Si}} =$	0,330
Alumine.	$\ddot{\text{Al}} =$	0,353
Oxyde de fer.	$\ddot{\text{Fe}} =$	1,060
Silicates insolubles. . .	$=$	9,490
		99,993

Ces derniers silicates sont composés de :

$\ddot{\text{Si}} =$	6,004
$\ddot{\text{Fe}} + \ddot{\text{Al}} =$	2,510
$\text{Ca} =$	0,980
	9,494

N° 2. *Calcaire brun cristallin, saccharoïde et cellulaire, qui forme les bords des fragments ou qui les traverse en veines.*

Carbonate de chaux. . .	$\text{Ca } \ddot{\text{C}} =$	87,570
Silicate de chaux. . . .	$\text{Ca } \ddot{\text{Si}} =$	00,597
Silice.	$\ddot{\text{Si}} =$	00,210
Alumine.	$\ddot{\text{Al}} =$	} 0,427
Oxyde de fer.	$\ddot{\text{Fe}} =$	
Carbonate de magnésie. .	$\text{Mg } \ddot{\text{C}} =$	11,270
		100,074

La première variété de la roche , celle qui forme le noyau des fragments où les substances volatiles n'ont pu pénétrer, ne renferme donc point de carbonate de magnésie ; c'est de la craie pure , ne renfermant qu'environ 9 pour 100 de silicates insolubles , comme le planer des environs. La deuxième variété , celle qui constitue l'enveloppe de ces fragments , qui ont de 0^m,05 à 2 ou 3 décimètres de diamètre , et qui est en contact immédiat avec les fissures qui amenaient les émanations de l'intérieur, ne renferme point de silicates d'alumine et de fer ; ces derniers y paraissent remplacés par une plus grande proportion de silicate de chaux et par de la silice pure , et au lieu de cela on y remarque plus de 11 pour 100 de magnésie carbonatée. Cette dernière roche n'est donc point encore une véritable dolomie ; c'est un calcaire magnésien , une dolomie en voie de formation. La cessation de l'émission des gaz avant que la métamorphose complète fût achevée , par un fait semblable à celui de ces insectes fossiles frappés par la mort au moment de leur accouplement , nous a permis de surprendre la nature dans son laboratoire. Et quel laboratoire que celui de la nature ! Que de phénomènes que nous, pauvres pygmées, parcelles infinitésimales du grand Tout, nous efforçons plus ou moins maladroitement d'expliquer, et que nous ne saurions jamais reproduire ! S'ensuit-il qu'il faille nier ces mêmes phénomènes ? Je ne le crois pas. J'aime alors mieux rester dans la conscience de mon insuffisance , en m'inclinant devant la majesté de l'univers , que de me creuser le cerveau pour bâtir des systèmes impossibles.

§ 4. *Du sel gemme dans le nord de l'Allemagne et de son origine probable.*

La présence du sel dans ce pays est hors de doute ; mais, quoique cette roche y forme très probablement de grands dépôts dans les profondeurs, il est à peu près impossible de faire des observations assez sûres et qui puissent nous éclairer complètement sur ce sujet. Les sources salées sont très fréquentes dans tous les pays qui environnent le Harz , mais elles tarissent lorsqu'on s'interne dans les schistes et les grauwackes. Ainsi que le gypse et les calcaires magnésiens , les sources salées se rencontrent , soit à la limite des montagnes de transition , soit là où des grandes fentes , espèces de puits artésiens naturels , permettent aux eaux pluviales de remonter à la surface. Naturellement on les trouve en règle générale dans les fonds les plus bas du sol. En raison de sa solubilité , le sel gemme en nature n'est visible aucune part à la surface ; mais on

l'a atteint par des forages à Artern , au milieu de la Thuringe, et ailleurs. On vient même d'en découvrir un gîte très puissant à de grandes profondeurs dans les environs de Brunnschwick. Il paraît s'étendre en grandes lentilles, à la manière des anciens gypses, dans le bassin profond du système permien supérieur. On dirait qu'il y repose, comme tout autre sédiment marin régulier, entre des dépôts de nature différente. Les eaux d'infiltration l'amènent de ces abîmes jusqu'à la surface. Je ne connais point de sel, dans le pays, qui puisse être réuni au groupe des gypses récents; mais nous savons, par les belles observations d'un des premiers savants de l'Allemagne, que du sel a pu exister autrefois associé au gypse, même là où l'on n'en trouve plus aujourd'hui (1).

Nous n'avons donc point de preuves directes qui nous conduisent à attribuer à une cause exceptionnelle l'origine des sels subhærcyniens. Il y a évidemment et il y a eu du sel gemme déposé par l'évaporation de bras de mer séparés de l'Océan, ou de lacs intérieurs; et les voyages de Humboldt dans l'Asie nous ont fait connaître l'étendue immense que peuvent avoir pendant une seule période de tranquillité « les effets d'un manque d'équilibre entre » l'évaporation, et le volume d'eau qui est amené par les affluents » et les précipitations de l'atmosphère (2). »

Les adeptes de Werner, et Hassenfratz en premier lieu, avaient admis exclusivement cette origine. M. Mathieu de Dombasle, dans les *Annales des mines pour 1821*, allait plus loin; il attribuait à l'évaporation des lacs, même d'eau douce, mais sans issue, le dépôt des couches salines et gypseuses, et il espérait arriver à déterminer la durée absolue d'un dépôt par les alternances de ces couches et des bandes marneuses ou argileuses dues aux inondations périodiques. C'est cette même thèse de la *production du sel en couches par l'évaporation* des eaux stagnantes qu'a soutenue également, mais avec des vues d'ensemble, M. Angelot, dans un Mémoire empreint d'une vaste érudition, qu'il a consigné dans notre *Bulletin* (3). Cette explication, dont la vraisemblance me paraît démon-

(1) Dans un de ses nombreux et profonds travaux sur les métamorphoses, M. Haidinger a démontré que des cristaux de sel gemme ont laissé leurs traces au milieu des formations gypseuses de Paris, qui, de notre temps, ne présentent plus aucun vestige de cette substance.

(2) *Asie centrale*, t. II, p. 143.

(3) T. XIV, p. 356.

M. Hommaire de Hell, qui a visité après Humboldt le bassin aralo-caspien, et qui vient de publier un grand et bel ouvrage sur ces pays, attribue également les terrains et étangs salés, et les dépôts

trée pour tous les sels stratifiés qui ne se trouvent pas en lentilles enchevêtrées, associés avec des gypses, des dolomies et du soufre, ne peut suffire pour les cas très nombreux où ces dernières roches les accompagnent. La simple évaporation ne saurait former des lentilles ayant sans intermédiaires la puissance énorme qu'on remarque dans certaines masses salines de l'Allemagne. Mais s'il y a beaucoup de sel qui est déposé par l'effet de l'évaporation, il y en a aussi qui est en relation avec les phénomènes volcaniques; telle paraît être, par exemple, la grande source salée que M. Russegger, le savant voyageur de l'Orient, a observée sur l'île de Milo, dans un sol volcanique, et près d'une solfatare (1). D'ailleurs je ne saurais admettre que le sel en général se soit trouvé à l'origine tout formé à la surface. Pour celui de l'Allemagne, l'analogie de gisement avec le gypse me fait conclure à une analogie de formation. Cette supposition s'accorde également avec l'origine présumée des dolomies; elle en acquiert et donne en même temps à cet origine une plus grande vraisemblance.

§ 5. *Essai d'une explication rationnelle de la formation des calcaires magnésiens et du sel dont nous venons de parler.*

Les circonstances géologiques nous prouvent que les calcaires magnésiens sont, comme les gypses, d'origine métamorphique. Toutes les probabilités se réunissent encore pour indiquer que le sel gemme intercalé entre ces autres dépôts de l'ancienne formation du zechstein est dû à des causes peu différentes. Ce fait est incontestable pour les gypses et pour les dolomies; il est vraisemblable pour les sels. Nous serions trop heureux de pouvoir parvenir à l'expliquer en démontrant sa nécessité par des considérations

salifères superficiels des plaines au nord-ouest de la mer Caspienne et de certaines localités des environs de la mer Noire, au dessèchement de ces plaines, occupées autrefois par une mer plus vaste, qui se serait opéré à la suite d'une évaporation lente, inconstante dans ses résultats, et donnant lieu à de nombreuses oscillations dans l'étendue de cette mer, jusqu'à la fixation complète de la limite des eaux actuelles. Les eaux des étangs et des lacs, séparées alternativement du bassin de la mer à la manière de certaines *limanes* actuelles de la mer Noire, devenaient toujours plus salées par les inondations successives qui apportaient des eaux salines, et par l'évaporation qui les dissipait pendant les grandes chaleurs de l'été (*Les steppes de la mer Caspienne, le Caucase, la Crimée et la Russie méridionale*, par M. X. Hommaire de Hell, t. III, chap. XI).

(1) *Nouv. ann. de géol. et min. de Leonhard et Bronn*, pour 1840.

théoriques. Malheureusement les conditions chimiques et physiques qui ont accompagné l'origine de ces roches nous sont trop peu connues, et nous en sommes réduits à faire des hypothèses sur les corps qui se trouvaient réellement en présence à ce moment, sur leur état, sur la température à laquelle ils étaient soumis, etc. Ce serait donc de la présomption que de vouloir bâtir une théorie complète sur ce sujet. Mais nous pouvons essayer, même d'après nos connaissances actuelles, de répondre à quelques chimistes et à quelques géologues, qui, en se fondant plutôt sur leurs connaissances propres et théoriques que sur une étude patiente de l'état des lieux et de la nature, ont traité, je crois, avec trop peu de faveur les opinions encore susceptibles de développement, il est vrai, de M. de Buch, et celles qui ont attribué certaines dolomies à une métamorphose par la voie humide.

Dolomies accompagnant les gypses formés par voie sèche. — Arrêtons-nous aux dolomies proprement dites, aux dolomies complètes. Nous supposerons, avec M. Élie de Beaumont, que dans ces roches un atome de dolomie,



a remplacé deux atomes de calcaire



ce qui, du reste, est parfaitement en rapport avec l'état fragmentaire que présentent les calcaires magnésiens (1). A quel état la

(1) Nous ne pouvons nous empêcher de rappeler, à ce sujet, les paroles que M. Élie de Beaumont prononçait dans la séance de notre Société du 6 mars 1837, qui relie d'une manière remarquable l'aspect géognostique de ces roches dans la nature, avec les spéculations chimiques que l'on peut faire sur leur origine

« L'hypothèse qui attribue à une épigénie l'origine des dolomies »
 » cavernueuses et fendillées, telles que celles du Tyrol et de Nice, se »
 » prête, elle aussi, comme celle de l'épigénie des gypses, au contrôle »
 » des calculs atomistiques. Une partie des Polypiers qui existent (à »
 » Gerolstein, Eiffel) dans le système silurien se trouvent à l'état de »
 » dolomie cristalline et cavernueuse, et ont cependant conservé leur »
 » forme générale, et même des traces reconnaissables des dessins déli- »
 » cats de leur surface. Ces Polypiers, primitivement calcaires, ont »
 » donc évidemment subi une épigénie qui, quel que puisse avoir été »
 » l'agent chimique qui l'a produite, a amené une légère diminution »
 » plutôt qu'une grande augmentation de volume. On satisfera pleine- »
 » ment à cette condition en supposant que l'épigénie qu'a eu à subir la

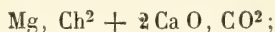
magnésie peut-elle s'être ainsi introduite dans la masse même des calcaires? Difficilement à l'état solide. On croyait autrefois que la cémentation de l'acier se faisait par une compénétration des molécules solides de deux corps mis en contact à une température donnée; mais après le Mémoire classique de M. Le Play (1), une telle opinion n'est plus discutable. D'ailleurs la magnésie ne pourrait être arrivée de l'intérieur de la terre à l'état solide. Malheureusement la magnésie elle-même et son carbonate sont fixes, et nous ne connaissons aucune combinaison magnésienne qui soit complètement volatile. La plupart des chlorures sont volatiles, d'autres se fondent sans qu'il nous soit possible de les vaporiser; et le chlorure de magnésium est précisément dans ce dernier cas. Mais le point de volatilisation est, comme celui de fusion, très variable, et il se pourrait très bien que ce qui n'est pas volatil dans nos laboratoires, le fût bientôt à des températures un peu plus élevées. C'est pourquoi nous ne saurions rejeter complètement l'idée que le carbonate de magnésie ait pu être rendu gazeux. Quant au chlorure de magnésium, il est en notre pouvoir de le rendre volatil; il suffit pour cela de le placer dans des conditions

» substance calcaire primitive de ces Polypiers a eu finalement pour
 » résultat de remplacer chaque double atome de carbonate de chaux
 » $\text{Ca } \ddot{\text{C}} + \text{Ca } \ddot{\text{C}}$, pesant 1264,912, par un atome de dolomie
 » $\text{Ca } \ddot{\text{C}} + \text{Mg } \ddot{\text{C}}$, pesant 1167,246. Dans ce mode d'épigénie, 1 mètre
 » cube de calcaire, pesant 2750 kilogrammes, aura donné 2537^{kil},6
 » de dolomie; et la pesanteur spécifique de la dolomie étant 2,878,
 » ces 2537^{kil},6 auront occupé un volume de 0^m,88475. Ainsi il y
 » aura eu retrait, et les interstices laissés par l'épigénie auront eu un
 » volume de 0^m,11825 ou d'environ $\frac{12}{100}$ de celui de la masse calcaire
 » transformée. Ce résultat répond pleinement à l'état caverneux de la
 » dolomie des Polypiers de Gerolstein, et de plus, il répond aussi à
 » l'état si remarquablement caverneux et fendillé de ces masses colos-
 » sales de dolomie du Tyrol, de Lugano, de la Franconie, etc., pour
 » lesquelles l'hypothèse de l'épigénie a été proposée depuis longtemps
 » par M. Léopold de Buch. » (*Bull. géol.*, t. VIII.)

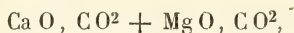
(1) La cémentation de l'acier était une pierre d'achoppement pour toutes les théories chimiques; c'était une anomalie au grand précepte connu jusque là par les alchimistes: *corpora non agunt nisi soluta* (à l'état liquide ou gazeux). M. Le Play, en prouvant qu'elle se fait à l'aide de l'oxyde de carbone, a fait rentrer ce phénomène dans l'ordre des lois naturelles; il a produit à ce sujet une véritable révolution dans les idées. (Voyez le Mémoire de M. Le Play, *Ann. des mines*, 3^e sér., t. XIX, p. 267. 1841.)

où des vapeurs ou des gaz puissent l'entraîner mécaniquement par leur courant.

Dans la nature, les dolomies portent l'empreinte du passage des gaz ; elles sont presque toujours associées aux gypses , et ceux-ci sont accompagnés de sel marin. Le chlore n'a donc pas été bien étranger à la formation de ces terrains ; et , d'un autre côté , les gaz sulfureux qui ont formé le gypse ont pu entraîner la magnésie qui se serait trouvée dans les profondeurs à l'état de chlorure. Il a dû en résulter dès lors avec le calcaire une double décomposition partielle ; nous avons :



il s'est fait :



plus une molécule du chlorure de calcium qui , étant déliquescent , ne saurait plus se trouver dans les roches de la surface.

Dolomies et sel accompagnant les gypses anciens formés par voie humide. — L'association des gypses , des calcaires magnésiens ou dolomies , et du sel marin , en lentilles alternantes et s'enchevêtrant réciproquement dans la formation du zeclistein , nous prouve que ces dépôts pouvaient se former indifféremment à peu de distance et peut-être même contemporainement dans la même mer. Cela s'explique parfaitement , si nous supposons la présence dans les eaux des carbonates de soude et de chaux , et l'émission simultanée d'émanations d'acide sulfureux et d'acide hydrochlorique ou de chlore avec du chlorure de magnésium par les soupiraux existant au fond de la mer ; et si l'on admet que l'abondance relative de chacun de ces corps a varié souvent pendant le cours des émanations, tantôt l'acide sulfureux étant prépondérant, tantôt le chlore, tantôt le chlorure de magnésium.

Ce qui devrait résulter d'un pareil mélange de corps qui se trouveraient en présence dans un liquide aqueux , à une température bien certainement au-dessus de la chaleur tempérée et dans des proportions variables , est clair pour tout le monde. Le chlore , lorsqu'il existe, viendra en aide à l'oxygène de dissolution ; il complétera l'oxidation de l'acide sulfureux aux dépens de l'eau. Les carbonates de soude et de chaux , attaqués dans les eaux où ils se trouvaient en dissolution ou en suspension , par les acides chlorhydrique et sulfurique , se décomposeront en partie , et il se

dégagera de l'acide carbonique. La soude pouvant former avec le chlore un sel moins soluble que la chaux, c'est sur lui qu'elle se portera de préférence ; par la même raison , la chaux se combinera plutôt avec l'acide sulfurique ; l'hydratation du sulfate anhydre, favorisée par la présence des eaux , se fera au même moment. Le chlorure de magnésium , inattaquable au milieu d'un excès de chlore , remplacera plus loin une partie du calcaire. Suivant l'abondance locale de l'acide sulfurique , du chlore ou du chlorure de magnésium , il se formera du gypse , du sel ou des dolomies. Un genre d'action une fois commencé , il se développera jusqu'à ce qu'une grande diminution dans la quantité du gaz agissant , ou l'abondance croissante d'éléments différents , viennent changer les conditions ambiantes.

Voici , réduites à leur plus simple expression , les réactions qui ont dû se passer, et , j'ose le dire , que , d'après l'ensemble des phénomènes de gisement et géologiques , nous pouvons affirmer s'être passées au fond des anciennes mers permienes ou au milieu des formations plus récentes disloquées de l'Allemagne du centre et septentrionale. Ces réactions s'appuient et s'expliquent mutuellement. L'émanation des gaz sulfatisants et du chlore ou de l'acide hydrochlorique a rendu possible l'arrivée des vapeurs magnésiennes ; l'intervention du chlore ou de l'acide hydrochlorique a facilité l'oxydation de l'acide sulfureux et la décomposition du calcaire. La présence d'autres éléments , tels que le potassium , le brome , l'iode , le bore , le sélénium , etc. , qui ont dû également accompagner , mais en de petites quantités , les émanations métamorphosantes , ont pu compliquer , mais non altérer , la marche générale du phénomène. Le carbonate de soude étant soluble , se trouvait abondamment dans les mers du zechstein ; il s'y est fait d'énormes dépôts de sel. Ne pouvant exister dans les roches plus récentes qui étaient déjà solides , émergées , et exposées depuis longtemps à l'action des eaux atmosphériques , le sel n'a pu s'y produire ; les vapeurs de chlore ou d'acide hydrochlorique se sont alors répandues dans l'atmosphère et ont été absorbées par les eaux. C'est pourquoi le chlorure de sodium accompagne le gypse de voie humide et manque à côté du gypse de voie sèche , comme l'anhydrite se trouve plutôt au milieu de ce dernier et ne se montre avec le premier que dans les cas complexes où les deux actions se sont ajoutées (1).

(1) D'après la manière dont se comporte le sulfate de chaux avec la chaleur , l'anhydrite a pu encore , dans certains cas , être le résultat

Nous finirons ce paragraphe par une remarque qui pourra donner lieu peut-être à quelques réflexions. C'est la superposition presque sans exception et dans toutes les formations, des calcaires magnésiens et des dolomies au-dessus du gypse, tandis que le sel se trouve généralement à la partie inférieure. L'explication de ce fait, dont je ne sais pas assez jusqu'à quel point il soit général, est beaucoup plus facile dans le métamorphisme par la voie sèche que dans celui par la voie humide.

§ 6. Conclusion.

La discussion que nous venons d'engager se rattache de bien près à celle du métamorphisme des roches en général. Si je voulais rappeler ici tous les savants qui, de près ou de loin, et sous des points de vue différents, ont traité de ces questions, je sortirais bientôt du cadre de ce Mémoire. Car le nombre des géologues qui s'en sont occupés, et même de ceux qui ont adopté partiellement des idées plus ou moins analogues, est très grand. Dès 1779, Arduino, frappé par les conditions de gisement des dolomies, et malgré l'état où se trouvait alors la chimie, et l'ignorance complète où l'on était à l'égard de la véritable composition des corps, avait positivement annoncé, dans un journal paraissant à Venise, que la dolomie, qu'il croyait alors être de la *magnésie* (1), n'était due qu'à une altération du calcaire. M. de Buch, de son côté, conduit par l'observation des faits, établit sa célèbre théorie de la dolomitisation.

Cependant les théories du métamorphisme des roches de sédiment, cet enfant des écoles italienne et écossaise, étaient de plus en plus généralement acceptées, et venaient répandre la lumière et mettre de l'ordre dans ce chaos wernérien, auquel on avait su donner habilement des teintes si régulières. MM. Al. Brongniart, Élie de Beaumont, Dufrénoy, Boué, Backewell, Savi, Studer, Sismonda, etc., apportaient de nouveaux faits et de nouveaux développements à l'appui de ces théories, que Hutton, Playfair et Mac-Culloch avaient défendues; ils les renfermaient dans les limites du vrai

d'une déshydratation du gypse lui-même et d'une recristallisation confuse du sulfate de chaux anhydre, fondu partiellement à de hautes températures, et refroidi avec une lenteur extrême.

(1) Ce n'est que beaucoup plus tard que Klaproth et surtout Vauquelin (*Journal des mines*, t. XVI, p. 77, an XII) ont reconnu sa composition véritable.

et de la réalité. Les idées sur l'origine de nos dépôts anormaux suivaient de près tous ces progrès. M. Forchhammer attribuait une formation métamorphique aux gypses du Holstein et de la Zélande; M. Dufrénoy regardait comme contemporaine de l'apparition des ophites l'origine des dépôts anormaux qu'on rencontre dans les terrains de craie des Pyrénées; on dirait même que ce savant illustre a voulu dès lors établir nos deux groupes de gypses, ceux formés par la voie humide et ceux formés par la voie sèche, car il insiste sur ce « qu'il ne faut pas confondre ces gypses accidentels » associés aux ophites, aux sources salées, et aux cargneules, avec » les gypses tertiaires stratifiés régulièrement (1). » M. Élie de Beaumont consignait, dans le huitième volume de notre *Bulletin*, toute une série de considérations et de calculs du plus haut intérêt sur la dolomitisation et sur la formation des gypses. Il professait en 1833, au Collège de France, les théories du métamorphisme normal, qui venaient s'ajouter à celles des altérations accidentelles. M. Boué défendait, de son côté, l'origine chimique des gypses et des dolomies; il osait même y ajouter le sel gemme. Peu de personnes ont contribué à propager la vérité sur ce point autant que M. Boué. MM. Beudant, C. Prévost, Desnoyers, Le Play, de Collegno, Coquand, Virlet, d'Archiac, Pareto, Gueymard, etc., ont fait d'excellentes observations sur ces sujets, et ont tous adopté plus ou moins complètement cette idée fondamentale d'une origine métamorphique de nos dépôts anormaux.

En présence des observations que nous venons de faire nous-mêmes, en présence des opinions émises par un si grand nombre de géologues, qui tous, quoique divergeant quelquefois, il est vrai, dans l'explication du phénomène, ont été amenés par l'étude de la nature à accepter pour nos dépôts, soit partiellement, soit en totalité, des idées peu différentes de celles que nous défendons, nous osons avouer que notre conviction est arrêtée.

D'après les faits que nous a offerts l'étude de l'Allemagne centrale, nous nous croyons donc fondés à conclure :

Que les gypses de ce pays se présentent de deux manières diverses dans les terrains secondaires : en petits massifs isolés au milieu des terrains du trias, du jura ou de la craie, et en larges lentilles interposées dans les dépôts permien supérieurs. Que dans l'un et dans l'autre cas, ces gypses sont toujours stratifiés, et qu'ils sont constamment accompagnés de dolomies, qui participent de la nature de leur gisement. Que les sources salées et le sel gemme

(1) *Ann. des mines*, 3^e sér., t. II, p. 28.

y accompagnent le gypse du zechstein ; mais qu'il n'est pas à notre connaissance qu'il s'en trouve d'associés aux gypses plus récents. Que l'anhydrite n'accompagne le gypse ancien que dans certaines positions particulières, comme, par exemple, à la limite des terrains de transition (Mannsfeld, Lauterberg). Que le soufre ne se trouve avec les gypses du pays qu'en très petite quantité et rarement.

Que les gypses anciens du premier groupe, interstratifiés avec des calcaires bitumineux ou magnésiens en grandes lentilles enchevêtrées parmi les terrains du zechstein, et sans fossiles, reconnaissent leur origine de la voie humide ; qu'ils sont dus à la précipitation du calcaire renfermé dans les eaux de ces mers anciennes par des émanations venues au moyen de fentes de l'intérieur de la terre ; que des causes analogues ont produit la dolomie et le sel qui les accompagnent ; que leur production au fond des mers a varié de proportions suivant que les gaz sulfatants, magnésiaques ou salins arrivaient tour à tour en plus grande abondance, ou suivant qu'il se trouvait dans les eaux une plus grande quantité de carbonate de chaux ou de carbonate de soude ; que c'est précisément au mélange toujours présent d'une petite proportion de ces divers agents, de la chaux, de la soude, des acides sulfureux et carbonique, du chlore et du chlorure de magnésium, etc., que l'on doit attribuer la facilité avec laquelle les réactions ont pu commencer (1).

Que les gypses plus récents du deuxième groupe placés par petits massifs à la limite des terrains primaires ou dans les axes des rides, et quelquefois même dans les axes des vallées des formations secondaires ; intercalés dans les calcaires de ces formations postérieures au zechstein et faisant suite aux couches de ces calcaires, renfermant des débris de corps organisés transformés en gypse, ou d'autres substances accidentelles se rapportant aux calcaires des formations respectives, possédant chacun un facies minéralogique prononcé qui les rapproche de ces mêmes calcaires, sont dus à la transformation d'une partie des couches de chaux carbonatée renfermées dans les terrains de sédiment. Que cette transformation a

(1) Nous savons, par la chimie, qu'il suffit de l'intervention de quelques atomes d'un corps étranger, quelquefois même de la simple application de la lumière, ou d'une simple action de présence, pour déterminer la combinaison de deux substances données, qui sans cela n'opéreraient jamais leur réunion, et que la réaction une fois commencée se poursuit par elle-même avec la plus grande facilité.

dû avoir lieu après le dépôt et la solidification de ces couches , et probablement après leur émergence. Qu'elle a dû donc s'effectuer par la voie sèche , et par suite de l'arrivée d'émanations de l'intérieur à une haute température. Qu'ici , comme dans les mers du zechstein , les calcaires magnésiens ou le sel ont pu et ont dû se former d'une manière analogue ; que si l'on ne trouve pas de sel , c'est que , faute de la présence de la soude , il ne s'en est pas formé , ou qu'il n'a été produit qu'en de très petites quantités , et qu'il n'y existe plus.

A la suite de quelque grand bouleversement des fentes se sont produites dans le sol , au fond de l'ancienne mer du zechstein. Des émanations gazeuses sont arrivées par ces soupiraux. Partout où leur action était sensible, la vie organique a été détruite ; le calcaire ou le natron qui se trouvaient dans les eaux ont été précipités à l'état de chaux carbonatée , de sel , de gypse ou de calcaires magnésiens. Lorsque les précipités encombraient l'un des soupiraux , les autres continuaient leurs émissions , mais la nature de ces émissions n'était pas constante ; de là l'enchevêtrement des différents dépôts. Lorsque toutes les fentes furent bouchées , l'action a cessé ; elle a été nulle jusqu'à ce qu'une nouvelle révolution eût réouvert les conduits. Le grand cataclysme post-crétacé , qui , plus que tout autre , paraît avoir disloqué le sol de ces contrées , a donné lieu à une nouvelle émission de vapeurs et au commencement de la formation des dépôts anormaux des terrains secondaires plus récents. L'émission de ces vapeurs a pu se continuer pendant une ou plusieurs des périodes tertiaires , et s'ils étaient arrivés dans des eaux , ils auraient pu donner lieu à des dépôts stratifiés analogues à ceux du zechstein. L'hydratation du gypse s'est faite contemporanément dans la transformation par voie humide ; elle a pu se faire en même temps , mais elle s'est opérée plus probablement après coup , dans la transformation par la voie sèche. Les bosses que les rides présentent sur plusieurs points du pays , sont dues au gonflement produit par la gypsification dans les endroits de ces rides où il y avait une émission de vapeurs métamorphosantes. Il a pu se former en même temps , et par les gaz sortant d'une même cheminée , la transformation par voie sèche des calcaires encaissant la fissure , et celle par voie humide dans les eaux superficielles lorsque les vapeurs étaient amenées en dernier lieu dans la mer ou dans un lac. Le métamorphisme par voie sèche a pu s'ajouter au métamorphisme par voie humide , lorsque des vapeurs , arrivant par des fentes réouvertes à travers des dépôts de gypse ou de dolomies in-

terstratifiés avec des calcaires, ont étendu ou complété la transformation.

L'anhydrite a pu se former, soit à cause du défaut d'eau, et du premier coup dans le métamorphisme par voie sèche, soit après, par suite d'une déshydratation du gypse par la chaleur, et d'une fusion et refroidissement lent du sulfate qui en résultait. Dans ce dernier cas, elle n'est plus qu'un produit de ce métamorphisme ordinaire qui a donné lieu aux calcaires cristallins et saccharoïdes.

Le soufre déposé avec les gypses de nos pays est en si petite quantité, que je ne crois devoir le regarder que comme un effet des réactions sulfatisantes à l'époque du métamorphisme.

M. Élie de Beaumont lit la note suivante :

Note sur les systèmes de montagnes les plus anciens de l'Europe,
par M. L. Élie de Beaumont.

J'ai eu plus d'une fois l'occasion d'entretenir la Société des recherches dont je continue à m'occuper relativement aux systèmes des montagnes de différents âges et de directions différentes qui sillonnent la surface du globe, et particulièrement celle de l'Europe.

Mon premier travail sur cette matière, lu par extrait à l'Académie des sciences, le 22 juin 1829, était intitulé : RECHERCHES SUR QUELQUES UNES DES RÉVOLUTIONS DE LA SURFACE DU GLOBE, *présentant différents exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes, et les changements soudains qui ont produit les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment.*

Les exemples de ce genre de *coïncidence* dont j'avais cru pouvoir entretenir l'Académie étaient au nombre de quatre seulement ; c'étaient ceux qui se rapportent aux systèmes de la Côte-d'Or, des Pyrénées, des Alpes occidentales et de la chaîne principale des Alpes. J'y joignais, mais sous une forme hypothétique, un aperçu sur l'origine plus récente du système des Andes.

Les systèmes dont je viens de parler figurent seuls dans le Rapport que M. Brongniart a fait à l'Académie sur mon travail, le 26 octobre 1829, et dans l'article que M. Arago a bien voulu lui consacrer dans l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1830.

J'avais cru devoir me borner d'abord aux exemples de *coïncidence* qui me paraissaient alors les plus frappants et les plus incon-

testables ; mais en imprimant mon *Mémoire in extenso* dans les *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII et XIX (1829 et 1830), je n'ai pas négligé d'indiquer en note d'autres exemples du même genre de coïncidence, qui avaient déjà à nos yeux un assez grand caractère de certitude pour mériter d'être enregistrés ; car j'étais convaincu que le rapprochement général que je cherchais à établir entre les révolutions de la surface du globe et l'apparition successive d'autant de systèmes de montagnes diversement dirigés paraîtrait d'autant moins hasardé que je pourrais citer un plus grand nombre d'*exemples de coïncidence*.

Par l'effet de ces indications subsidiaires, le nombre des exemples de coïncidence se trouvait déjà porté à neuf, sans parler du *système des Andes* ; mais là ne s'arrêtaient pas mes espérances, car je disais (*Annales des sciences naturelles*, t. XIX, pag. 231, 1830) : « Quand même les recherches dirigées vers ce but auraient été » poursuivies pendant longtemps, il serait difficile que le nombre » des connexions de ce genre qu'on aurait reconnues présentât » quelque chose de fixe et de définitif. Outre les quatre *coïnci-* » *dences* auxquelles j'ai consacré les quatre chapitres de ce mé- » moire, j'en ai ensuite indiqué d'autres dans les notes qui y » sont ajoutées ; et ces premiers résultats, s'ils sont exacts, ne » seront peut-être encore que la moindre partie de ceux qu'on » peut prévoir lorsqu'on considère combien d'autres interruptions » présente la série des dépôts de sédiment, et combien d'autres » systèmes de montagnes hérissent la surface du globe. »

Le même volume contient une planche coloriée (pl. III) qui est intitulée : *Essai d'une coordination des âges relatifs de certains dépôts de sédiment, et de certains systèmes de montagnes ayant chacun leur direction*. Cette planche, qui était le tableau graphique de mes premiers résultats, présentait, rangés de gauche à droite, neuf systèmes de montagnes (sans compter celui des Andes), tous désignés suivant la méthode dont je me suis fait une règle constante, d'après des motifs que j'ai indiqués, non par des numéros d'ordre, mais par des *noms géographiques*. Et pour compléter l'expression de ma thèse fondamentale, j'y avais fait graver la note suivante : « On a laissé en blanc les montagnes dont la place dans la série n'est » encore que présumée : de vastes systèmes tels que ceux des côtes » de Mozambique et de Guinée ont même dû être complètement » omis ; mais les modifications qu'on peut prévoir dans cette série » provisoire la changeraient difficilement au point de porter direc- » tement à croire qu'elle soit terminée, et que l'écorce minérale

Soc. géol., 2^e série, tome IV. 55

» du globe terrestre ait perdu la propriété de se rider successive-
 » ment en différents sens. »

Depuis lors cette *série provisoire* a reçu plusieurs termes nouveaux qui s'y sont ajoutés ou intercalés sans en changer la forme générale, et sans modifier en rien les inductions auxquelles elle conduit si naturellement.

Le but que je me propose aujourd'hui en appelant de nouveau l'attention de la société sur ce sujet, est d'étendre encore la série provisoire dont je viens de parler par son extrémité inférieure, c'est-à-dire par celle qui se rapporte aux phénomènes les plus anciens.

Sur la planche coloriée que j'ai citée il y a un instant (*Annales des sciences naturelles*, t. XIX, pl. III, 1830), j'avais fait graver une seconde note ainsi conçue : « On a figuré ici des fougères et des » prèles arborescentes, des lépidodendrons, pour rappeler que les » végétaux de cette nature, dont les débris enfouis ont produit la » houille, avaient crû sous nos latitudes peu de temps après *le plus » ancien redressement de couches figuré dans le tableau*; d'où il » suit que dès lors nos contrées se trouvaient dans des circonstances » climatiques dont nous pouvons nous faire quelque idée. »

Ce plus ancien redressement de couches figuré dans le premier tableau graphique des résultats de mes recherches était celui des *collines du Bocage* (Calvados), où j'ai trouvé les premiers indices du *système des ballons et des collines du Bocage* dont je n'ai pu fixer que plus tard, d'une manière précise, la direction et l'âge relatif.

Aussitôt que l'observation m'a permis de définir d'une manière complète le *système des ballons et des collines du Bocage*, j'ai aperçu qu'il existait des systèmes de dislocation plus anciens, et d'une direction différente.

L'un de ces systèmes a été mis en lumière dès 1831 par M. le professeur Sedgwick, et il figure déjà sous le nom de *système du Westmoreland et du Hunsruck* dans l'extrait de mes recherches qui a été imprimé en 1833, dans la traduction française du *Manuel géographique* de M. de la Bèche, publiée par M. Brochant de Villiers, et en 1834 dans le III^e volume du *Traité de géognosie* de M. Daubuisson de Voisin, continué par M. Amédée Burat, p. 282.

Mais je ne me suis pas arrêté à ce premier pas : je n'ai rien négligé pour en faire de nouveaux dans cette voie rétrospective qui conduit aux premiers temps de l'enfance du globe terrestre et du règne organique ; malheureusement ces pas ont été lents, parce que les traces des ridements successifs de l'écorce terrestre sont d'autant

plus méconnaissables et plus cachées qu'ils sont plus anciens. Enfin je crois pouvoir indiquer dès aujourd'hui dans ma série quatre termes plus anciens que le plus ancien redressement de couches figuré dans mon premier tableau, et je conserve l'espérance que des recherches ultérieures nous feront pénétrer plus loin encore dans la nuit des premiers temps géologiques.

Depuis quelques années les géologues ont marché dans cette direction avec une ardeur toute spéciale. C'est en effet dans le domaine des terrains fossilifères anciens, antérieurs au calcaire carbonifère, que la géologie a fait récemment dans les deux hémisphères les conquêtes les plus importantes. Elle les doit particulièrement aux travaux de MM. Murchison et Sedgwick, en Angleterre, à ceux de MM. Murchison, Sedgwick, de Verneuil et d'Archiac dans les provinces rhénanes, de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling en Russie et dans les monts Oural, des géologues américains et de MM. Lyell et de Verneuil dans les contrées transatlantiques.

Je suis parti des faits connus. Je ne pouvais devancer ces vastes conquêtes, mais ma théorie aurait manqué d'un des éléments les plus essentiels de la vitalité scientifique, la faculté des progrès, si elle n'avait pas été apte à faire un pas immédiat à la suite des magnifiques résultats obtenus par nos savants amis. J'essaie aujourd'hui de faire ce pas, et je suis heureux de pouvoir le tenter sous les yeux mêmes de M. Murchison, dans une séance honorée aussi de la présence de notre maître illustre et chéri M. Léopold de Buch.

J'ai préparé lentement, au fur et à mesure des observations, les éléments de ce nouveau progrès. Tant qu'elles ont manqué de précision et d'ensemble, j'ai dû m'abstenir d'arrêter complètement l'esquisse de la partie correspondante de mon tableau, et je me suis borné à indiquer l'existence d'un système de dislocations antérieur à celui des ballons et des collines du Bocage, auquel j'ai assigné la direction *hora* 3-4 de la boussole de Freyberg, c'est-à-dire celle que M. de Humboldt avait assignée dès 1792 aux roches schisteuses de l'Allemagne. Mais cette désignation ne répondait pas à celles que j'avais données pour les autres systèmes de dislocation dont j'avais fixé les orientations en degrés. Celle-ci comprenait toutes les directions plus rapprochées des heures 3 et 4 de la boussole que des autres heures, c'est-à-dire toutes celles comprises entre l'E. $22^{\circ} \frac{1}{2}$ N. et l'E. $52^{\circ} \frac{1}{2}$ N., de manière qu'elle s'appliquait également bien aux roches schisteuses des environs de Brest, dirigées E. 25° N. et aux roches schisteuses des mon-

tagues des Maures et de l'Estérel, dirigées moyennement à l'E. 46° N.

Cette trop grande généralité indiquait un état de choses provisoire dont j'essaie de sortir aujourd'hui, en montrant que les orientations qui sont comprises dans la désignation *hora* 3-4, ou qui approchent beaucoup d'y rentrer, constituent trois groupes distincts à la fois par leurs directions et par leurs âges relatifs, et comparables aux systèmes de montagnes plus anciennement définis des époques subséquentes.

En joignant à ces trois systèmes celui que M. Rivière a indiqué depuis quelques années sur les côtes S.-O. de la Vendée et de la Bretagne, comme étant dirigé à peu près au N.-O. et d'une date très ancienne, nous aurons les quatre termes de ma série qui me paraissent pouvoir être indiqués dès aujourd'hui comme antérieurs au système des ballons et des collines du Bocage.

Pour parvenir à disséquer et à analyser convenablement un ensemble d'observations aussi complexe que celui qu'on possède aujourd'hui sur les directions des roches stratifiées anciennes, il est indispensable de procéder avec méthode et précision. Dans la plupart des travaux de ce genre dont j'ai publié les résultats, j'ai employé un procédé graphique dans lequel j'ai fait usage d'une *projection stéréographique sur l'horizon du Mont-Blanc*, que j'ai calculée et fait graver exprès dès les premières années de mes recherches, et dont je me suis constamment servi depuis lors dans mes cours. Cependant comme je ne pourrais faire entrer cette projection dans le *Bulletin*, et comme je désire placer complètement sous les yeux de la Société tous les éléments de la discussion à laquelle je vais me livrer, je procéderai cette fois par la voie du calcul.

La méthode graphique et la méthode trigonométrique ont chacune leurs avantages.

La méthode graphique en a un qui me paraît inappréciable, celui de parler aux yeux, qui, pour des tâtonnements géométriques, sont toujours les premiers et les plus délicats des instruments; mais elle semble au premier abord moins précise que l'autre, quoique, dans la réalité, sa précision soit au moins égale à celle des observations mêmes auxquelles on l'applique.

La méthode trigonométrique, plus lente, et réellement plus rigoureuse, donne surtout avec plus de sûreté le résultat moyen d'un grand nombre d'observations.

Il semble d'ailleurs qu'on se trouve plus naturellement porté à se servir de la méthode graphique lorsqu'on a à combiner de

grands traits orographiques fortement dessinés sur les cartes, et à suivre au contraire la voie du calcul lorsqu'on a à réduire à une moyenne de nombreuses observations exprimées directement par des chiffres, telles que celles qu'on peut faire sur les roches schisteuses anciennes.

Rien n'empêche au surplus, même lorsqu'on ne peut publier que l'un des deux modes de discussion, de s'aider aussi de l'autre dans les tâtonnements préliminaires, et c'est ce que je n'ai pas négligé de faire pour vérifier mes résultats.

Lorsqu'on possède un grand nombre d'observations de direction faites dans une contrée peu étendue, on peut aisément les assembler par groupes en dressant pour cette contrée une *rose des directions* suivant la méthode que j'ai indiquée, et dont j'ai donné un exemple dans l'explication de la carte géologique de France, t. I, p. 461 à 467. Le point délicat consiste à comparer et à combiner sans erreur notable des observations faites dans des contrées plus ou moins éloignées.

Les chaînes de montagnes et les couches redressées forment sur la surface du globe différents systèmes dont chacun se fait remarquer par le parallélisme qui existe approximativement entre ses divers éléments. La sphéricité de la surface du globe apporte des difficultés dans la définition et dans l'analyse de ce parallélisme si frappant pour les yeux; et, comme je l'ai dit ailleurs (1), « on sent bientôt la nécessité d'analyser cette première notion d'un » *certain parallélisme* avec assez d'exactitude pour que l'étendue » de l'espace, dans lequel ce parallélisme pourrait exister, ne soit » jamais dans le cas d'en mettre la définition en défaut.

» Pour cela, il faut avant tout se rappeler que, lorsqu'on trace » un alignement quelconque sur la surface de la terre, avec un » cordeau, avec des jalons ou de toute autre manière, la ligne » qu'on détermine est la plus courte qu'on puisse tracer entre les » deux points extrêmes auxquels elle s'arrête, et qu'abstraction » faite de l'effet du léger aplatissement que présente le sphéroïde » terrestre, *une pareille ligne est toujours un arc de grand cercle.*

» Deux grands cercles se coupant nécessairement en deux points » diamétralement opposés ne peuvent jamais être parallèles dans

(1) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe* (extrait imprimé dans la traduction française du *Manuel géologique* de M. de La Bèche, publié par M. Brochant de Villiers, et dans le III^e volume du *Traité de géognosie* de M. Daubuisson de Voisin, continué par M. Amédée Burat).

» le sens ordinaire de ce mot ; mais deux arcs de grand cercle
 » d'une étendue assez limitée pour que chacun d'eux puisse être
 » représenté par une de ses tangentes pourront être considérés
 » comme parallèles , si deux de leurs tangentes respectives sont
 » parallèles entre elles. C'est ainsi que tous les arcs de méridien
 » qui coupent l'équateur sont réellement parallèles entre eux aux
 » points d'intersection. En général, deux arcs de grands cercles
 » peu étendus, sans être même infiniment petits, pourront être
 » dits parallèles entre eux s'ils sont placés de manière à ce qu'un
 » troisième grand cercle les coupe l'un et l'autre à angle droit
 » dans leur point milieu. Par la même raison , un nombre quel-
 » conque d'arcs de grands cercles , n'ayant chacun que peu de lon-
 » gueur, pourront être dits parallèles à un même *grand cercle de*
 » *comparaison* , si chacun d'eux en particulier satisfait à la con-
 » dition ci-dessus énoncée par rapport à un élément de ce grand
 » cercle auxiliaire. Pour cela , il est nécessaire et il suffit que les
 » différents grands cercles qui couperaient à angle droit chacun de
 » ces petits arcs dans son milieu aillent se rencontrer eux-mêmes
 » aux deux extrémités d'un même diamètre de la sphère. Si cette
 » condition est remplie , et si en même temps tous les petits arcs
 » de grands cercles dont il s'agit sont éloignés des deux points
 » d'intersection de leurs perpendiculaires, s'ils sont concentrés
 » dans le voisinage du grand cercle qui sert d'équateur à ces deux
 » pôles, ils pourront être considérés comme formant sur la surface
 » de la sphère un *système de traits parallèles entre eux*. Les diffé-
 » rents sillons d'un même champ ou de deux champs voisins ne
 » peuvent jamais, à la rigueur, s'ils sont rectilignes, présenter
 » d'autre parallélisme que celui qui vient d'être défini, et cette
 » définition a l'avantage d'être indépendante de la distance à
 » laquelle ces deux champs se trouvent placés (1). »

Le problème fondamental que présente un pareil système de petits arcs observés sur la surface du globe, où ils sont tracés par des crêtes de montagnes ou par des affleurements de couches, consiste à déterminer le *grand cercle de comparaison* à l'un des éléments duquel chacun des petits arcs observés est parallèle.

Les petits arcs déterminés par l'observation , dont nous venon : de parler, peuvent généralement être considérés comme étant eux-mêmes des sécantes infiniment petites , ou des tangentes par rapport à autant de petits cercles résultant de l'intersection de la surface de la sphère avec des plans parallèles au *grand cercle de comparaison*

(1) *Manuel géologique*, p. 623, et *Traité de géognosie*, t. III, p. 294.

qui forme l'équateur de tout le système. Chacun de ces petits cercles est un parallèle par rapport à l'équateur du système, il a les mêmes pôles que lui et ces pôles sont les deux points où se coupent tous les grands cercles perpendiculaires aux petits arcs qui constituent le *système de traits parallèles* déterminé par l'observation.

Le problème auquel donne lieu un pareil *système de traits parallèles observé sur la surface du globe* se réduit, comme nous venons de le dire, à déterminer ses deux pôles, ou, ce qui revient au même, son équateur; c'est-à-dire le *grand cercle de comparaison* auquel chacun des petits arcs observés peut être considéré comme parallèle. Cette détermination serait facile, et elle pourrait se faire d'après deux ou du moins d'après quelques observations seulement, si la condition du parallélisme était rigoureusement satisfaite; mais comme elle ne l'est, en général, qu'approximativement, la détermination du *grand cercle de comparaison* ne peut plus résulter que de la moyenne d'un grand nombre d'observations combinées entre elles; et tant que les observations ne sont pas très multipliées et répandues sur un grand espace, on ne peut que marcher vers cette détermination par des approximations successives.

Afin de parvenir à résoudre le problème avec toute l'approximation dont il est susceptible, on peut remarquer que si tous les petits arcs satisfaisaient rigoureusement à la condition de parallélisme que nous avons définie, les tangentes menées à chacun d'eux dans son milieu seraient toutes parallèles au plan du *grand cercle de comparaison*, qui est, comme nous l'avons déjà dit, l'équateur de tout le système.

Dans ce cas, si, par un point quelconque de l'espace, on tirait des lignes droites respectivement parallèles aux tangentes menées aux petits arcs dans leur milieu, toutes ces droites seraient comprises dans un même plan, que deux quelconques d'entre elles suffiraient pour déterminer, et ce plan serait parallèle au plan du *grand cercle de comparaison*, équateur du système, et serait perpendiculaire au diamètre de la sphère qui en joint les deux pôles.

Mais en général la condition de parallélisme que nous avons définie n'est pas rigoureusement remplie par les petits arcs observés, et par suite les tangentes qu'on peut mener à chacun d'eux par son point milieu ne sont pas parallèles à un même plan. Donc si, par un point quelconque, par exemple par l'un des points de la surface où on a observé, on mène des droites qui soient respectivement parallèles aux tangentes de tous les arcs observés, ces droites ne seront pas comprises dans un même plan; mais elles

formeront un *faisceau aplati*, et d'autant plus aplati que les petits arcs observés approcheront davantage de satisfaire à la loi du parallélisme.

On pourra alors faire passer par le point d'où partent toutes les droites qui composent ce faisceau un plan qu'on dirigera de manière à représenter ce qu'on pourrait appeler *la section principale de ce faisceau*, c'est-à-dire de manière à ce que les sommes des angles formés par les sécantes de part et d'autre de ce plan soient égales entre elles et les plus petites possible. Il est évident que le plan ainsi déterminé sera parallèle au plan du *grand cercle de comparaison* auquel tous les petits arcs approcheront le plus d'être parallèles et qui pourra être considéré comme l'*équateur approximatif* de tout le système et qu'il sera perpendiculaire à l'axe des pôles de cet équateur qui seront eux-mêmes les *pôles approximatifs* du système.

Pour déterminer ce plan qui est en général celui d'un petit cercle, il suffit de déterminer, pour le point de la surface de la sphère qui forme le sommet du faisceau, une tangente à la sphère qui y soit comprise, et de fixer en même temps l'angle formé avec ce même plan par le rayon de la sphère qui aboutit au sommet du faisceau.

Ces deux déterminations doivent être l'objet de deux opérations successives et distinctes.

Il faut, avant tout, élaborer les éléments de la forme du faisceau dont la section principale détermine la position de tout le système sur la sphère terrestre.

Pour cela on choisit parmi les points où les observations ont été faites un de ceux qui approchent le plus d'être le centre de figure du réseau formé par tous les points d'observation. Au besoin on prendrait même un point où aucune observation n'aurait été faite, mais qui serait le plus central possible par rapport à l'ensemble du réseau. Cette condition, qui, à la rigueur, n'est pas indispensable, devient cependant essentielle, ainsi que nous le verrons plus tard, lorsque, pour abréger les calculs, on se contente d'approximations.

Par le point qu'on a choisi pour être le sommet du faisceau, et que nous nommerons *centre de réduction*, on imagine des droites respectivement parallèles aux tangentes menées à chacun des petits arcs observés dans son point milieu, et on prolonge ces droites par la pensée à travers la sphère terrestre jusqu'à ce qu'elles reparaissent à la surface. Elles deviennent ainsi autant de *sécantes* de la sphère terrestre. Chacune d'elles sous-tend un arc de grand cercle qui part du sommet du faisceau et dont la grandeur et la position

peuvent être déterminées par la résolution de deux triangles sphériques dont nous aurons plus tard à nous occuper.

Si tous les petits arcs observés faisaient rigoureusement partie d'un même système de traits parallèles, toutes les sécantes se trouveraient dans un même plan, et ce plan, qui déterminerait à lui seul tout le système, pourrait être nommé le *plan directeur*.

Le *plan directeur* coupe le plan tangent à la sphère, au sommet du faisceau des sécantes, c'est-à-dire au point choisi comme *centre de réduction*, suivant une droite tangente à la sphère, qui représente pour le sommet du faisceau la direction du système, et qu'on peut appeler la *tangente directrice*.

Le *plan directeur*, qui est généralement celui d'un petit cercle, coupe le plan du grand cercle perpendiculaire à la tangente directrice, suivant une droite qui part du *centre de réduction* et qui rencontre l'axe des pôles du système. L'angle que forme cette droite avec le rayon de la sphère, qui aboutit lui-même au *centre de réduction* est égal à celui qu'elle forme avec le plan du *grand cercle de comparaison*, équateur du système, et pourrait être appelé l'angle *équatorial*.

L'angle *équatorial* E et l'angle A que la *tangente directrice* forme avec le *méridien astronomique* du *centre de réduction* déterminent à eux seuls tout le système.

Ce sont ces deux angles A et E qu'il s'agit de déduire des observations, c'est-à-dire des directions des petits arcs observés et de leurs positions sur la sphère terrestre.

Si ces petits arcs étaient tous *exactement parallèles* à un même grand cercle de comparaison, les sécantes parallèles à deux d'entre eux suffiraient pour déterminer la position du *plan directeur* et par conséquent les deux angles cherchés A et E. Mais si, comme c'est le cas ordinaire, les petits arcs observés ne satisfont que d'une manière approximative à la condition du parallélisme avec un même grand cercle de comparaison, deux de ces petits arcs ne conduiront pas exactement au même *plan directeur* que deux autres, et on pourra déterminer autant de positions du *plan directeur* qu'il y aura de manières possibles de combiner deux à deux les petits arcs observés, c'est-à-dire que si ces petits arcs observés sont au nombre de m , on aura $\frac{m \cdot m - 1}{2}$ positions différentes du *plan directeur*, et par conséquent $\frac{m \cdot m - 1}{2}$, valeurs de l'angle A, formé par la *tangente directrice* avec le *méridien* du *centre de ré-*

duction, et $\frac{m \cdot m - 1}{2}$, valeurs de l'angle équatorial E. Les valeurs de A et de E qui devront être employées s'obtiendront par une moyenne.

On pourra cependant simplifier les calculs sans en changer le résultat d'une manière considérable, en prenant d'abord la moyenne de $\frac{m \cdot m - 1}{2}$ valeurs de l'angle A formé par la tangente directrice avec le méridien du *centre de réduction*, ce qui déterminera la position du grand cercle perpendiculaire à la *tangente directrice*; puis projeter les m sécantes sur ce dernier plan et prendre la moyenne de leurs m positions, ce qui donnera la valeur de l'angle équatorial E.

Mais le calcul, exécuté même de cette manière, serait encore d'une excessive longueur, et on n'aurait que bien rarement des observations de direction assez précises pour justifier une aussi longue élaboration. Il importe donc de simplifier ce travail autant qu'il soit possible de le faire, sans compromettre l'exactitude du résultat.

Or, une propriété très générale des systèmes des petits arcs observés fournit un moyen de simplification très satisfaisant.

Généralement tous les petits arcs observés sont compris dans une zone de peu de largeur, divisée en deux parties égales par un grand cercle qui est le *grand cercle de comparaison* ou l'équateur du système.

Si donc on prend pour *centre de réduction* un point compris dans la zone occupée par les points d'observation et aussi central que possible par rapport à l'ensemble de ces points, ledit sommet ne pourra être très éloigné de la position encore inconnue du *grand cercle de comparaison*, équateur du système, et l'angle équatorial devra être très petit. On pourra par conséquent, sans commettre une très grande erreur, procéder d'abord pour obtenir au moins une première détermination approximative de l'angle A formé par la *tangente directrice* avec le méridien astronomique du *centre de réduction*, comme si l'angle équatorial E devait être nul, c'est-à-dire comme si le centre de réduction était placé sur le *grand cercle de comparaison*.

S'il en était réellement ainsi, et si les petits arcs observés satisfaisaient rigoureusement à la condition du parallélisme, l'une quelconque des sécantes déterminerait tout le système, et les arcs de grands cercles, sous-tendus par les diverses sécantes, seraient des parties d'un même grand cercle qui serait le *grand cercle de com-*

paraison. L'angle formé par le grand cercle avec le méridien astronomique du *centre de réduction* serait identique avec celui que forme la *tangente directrice* avec ce même méridien.

Si les petits arcs observés ne satisfont pas rigoureusement à la condition d'être parallèles à un même *grand cercle de comparaison*, chacun d'eux donnera une valeur différente de l'angle formé par la *tangente directrice* avec le méridien astronomique; et si les points d'observation sont en nombre m , on aura à prendre la moyenne de ces m valeurs.

Cette première moyenne déterminera l'orientation de la *tangente directrice*, orientation qui est le plus essentiel des deux éléments cherchés.

Après l'avoir obtenue, il restera à déterminer l'angle *équatorial* E formé par le *plan directeur* avec le rayon de la sphère passant par le *centre de réduction*, en projetant les m sécantes sur le plan du grand cercle perpendiculaire à la *tangente directrice*.

La projection de chaque sécante se détermine par la résolution d'un triangle sphérique rectangle, dont l'arc sous-tendu par cette même sécante forme l'hypoténuse, et dont l'un des angles aigus est l'angle formé par cet arc et par le grand cercle perpendiculaire à la *tangente directrice*. Dans ce triangle rectangle on déterminera les deux côtés de l'angle droit qui seront ψ , l'arc mené perpendiculairement de l'extrémité de la sécante sur le grand cercle perpendiculaire à la *tangente directrice*, et α , l'arc de ce grand cercle, compris entre le pied de la perpendiculaire et le sommet du faisceau des sécantes. La valeur correspondante de l'angle *équatorial* E sera donnée par la formule $\text{tang } E = \frac{\sin \alpha \cos \psi}{1 - \cos \alpha \cos \psi}$

Si on a pris l'un des points d'observation pour le *centre de réduction*, on aura pour ce point $\alpha = 0$ $\psi = 0$, et la formule se réduira à $\text{tang } E = \infty$. La valeur correspondante de E sera donc indéterminée, et on devra prendre simplement la moyenne des valeurs correspondantes aux $m - 1$ autres points. Il est naturel qu'il en soit ainsi, car le point qu'on a choisi pour le sommet du faisceau des sécantes ne peut donner lui-même de sécante; ainsi il ne fournit pas d'élément direct pour la détermination de l'angle E . Il n'influe sur la valeur de cet angle que par l'effet de la supposition qu'on a faite volontairement que le grand cercle de comparaison passe par le point adopté comme *centre de réduction*, et cette supposition se trouve introduite dans les calculs relatifs à tous les autres points.

Dans le cas où il n'y aurait qu'un seul point d'observation

et où ce point aurait été pris pour *centre de réduction*, l'angle E resterait complètement indéterminé, et il est clair, en effet, que dans ce cas le *plan directeur* doit rester indéterminé. Cependant si, dans le cas où il n'y a qu'un seul point d'observation, on prenait un autre point pour centre de réduction, le calcul s'effectuerait sans difficulté, mais alors il y aurait une sécante, l'angle formé par le grand cercle perpendiculaire à la tangente directrice et par l'arc du grand cercle sous-tendu par la sécante serait droit; l'angle α serait généralement nul et l'angle ψ ne le serait pas: donc $\text{tang } E$ serait 0, et l'angle E serait lui-même égal à 0; cela signifierait que le *plan directeur* passerait par le centre de la sphère, résultat qui ne fait que reproduire la supposition introduite arbitrairement, que le point pris pour *centre de réduction* est situé sur le *grand cercle de comparaison*, équateur du système. Dans le cas seulement où la sécante sous-tendrait un arc de 90° , l'arc ψ serait lui-même de 90° , mais alors l'arc α serait indéterminé et par suite la valeur de $\text{tang } E$ serait elle-même indéterminée. Tous ces résultats sont conformes à la nature des choses, et sont autant de confirmations de l'exactitude de la marche que j'ai indiquée.

Toutes les sécantes étant projetées sur un plan qui passe par le *centre de réduction*, sommet du faisceau, on tire dans ce plan, par le même sommet, une ligne dirigée de manière, que la somme des angles formés au-dessus d'elle par la projection d'une partie des sécantes soit égale à la somme des angles formés au-dessous par les projections des autres sécantes. Cette ligne est la trace du *plan directeur*, c'est-à-dire du plan du petit cercle qui fixe sur la sphère la position de tout le système auquel les petits arcs observés appartiennent approximativement.

Cette dernière ligne, qui passe au *centre de réduction*, forme, avec le rayon de la sphère qui part du même point, un angle E qui détermine la distance du petit cercle obtenu à l'équateur du système. Cet angle, qui représente la latitude du petit cercle par rapport à cet équateur, a pour valeur la moyenne des m ou $m - 1$ valeurs de l'angle E ; si on trouve que cette valeur est nulle, ou pour mieux dire, que la somme des valeurs de l'angle E , qui tombent au-dessus du centre de la sphère, est égale à celle des valeurs du même angle qui tombent au-dessous, on en conclura que le point pris pour *centre de réduction* avait été choisi de la manière la plus heureuse, c'est-à-dire qu'il se trouvait réellement sur le *grand cercle de comparaison*; mais généralement il n'en sera pas tout à fait ainsi, et la position moyenne de toutes

les sécantes projetées passera au-dessus et au-dessous du centre de la sphère, et donnera une valeur approximative de l'angle équatorial E , de laquelle on déduira d'une manière approximative aussi la position du *grand cercle de comparaison*.

Si cet angle est petit, ce qui arrivera le plus souvent, on pourra considérer l'opération comme terminée; mais si cet angle était un peu grand, on pourrait regarder seulement comme provisoire la position obtenue pour le *grand cercle de comparaison*, et recommencer toute l'opération en prenant pour *centre de réduction* un point situé sur ce grand cercle provisoire. On arriverait ainsi par des approximations successives, qu'on peut porter aussi loin qu'on le voudra, aux valeurs des deux angles cherchés.

De ces deux angles, ainsi que je l'ai déjà dit, le plus important à connaître et le plus facile à déterminer approximativement est l'angle A que forme la *tangente directrice* avec le méridien du centre de réduction. L'angle équatorial E est généralement très petit. Il a besoin, par conséquent, d'être déterminé avec précision, et il arrive bien souvent que les observations qui fixent les directions des petits arcs observés en différents points de la surface de la terre ne sont pas assez précises pour que cette dernière détermination présente quelque chance d'exactitude. Comme les calculs numériques qu'elle exige sont fort longs, on fera bien de ne les entreprendre qu'autant que les observations de direction qu'on aura réunies paraîtront assez exactes pour mériter d'être soumises à une élaboration aussi ardue. Il ne faut pas perdre de vue que les angles α et ψ , qui déterminent la valeur de l'angle équatorial E , dépendent eux-mêmes des *différences* entre la valeur moyenne de l'angle A et les valeurs particulières dont cette valeur moyenne est déduite. On concevra, d'après cela, que l'angle équatorial E devant généralement être assez petit, il ne pourrait être déterminé d'une manière véritablement satisfaisante qu'autant que les observations de direction seraient plus exactes et plus nombreuses qu'elles ne le sont ordinairement.

Au reste, renoncer à déterminer cet angle, c'est tout simplement se borner à admettre que le *grand cercle de comparaison* doit passer assez près du centre de réduction pour que la distance à laquelle il en passe et le sens dans lequel cette distance doit être comptée importent peu à connaître; or, cette supposition est souvent indiquée par l'ensemble des observations, même de celles qui ne peuvent entrer dans le calcul d'une manière assez évidente pour qu'on ne pût songer à s'en départir que par suite de calculs basés sur des données rigoureuses.

On s'en tient alors à la première des deux opérations que j'ai indiquées, et on considère la *tangente directrice* qu'elle détermine comme celle d'un grand cercle peu éloigné du véritable équateur du système et propre à le remplacer provisoirement. C'est en partie afin que cette substitution présente le moins de chances d'erreur possible que le *centre de réduction*, qui doit devenir un des points de cet équateur provisoire, doit être placé dans la position la plus centrale possible par rapport à l'ensemble des points d'observation.

L'opération doit toujours commencer par mener d'un *point central de réduction*, que l'adresse de l'opérateur consiste à choisir le mieux possible, des sécantes parallèles à tous les petits arcs observés; à déterminer les angles formés par le méridien astronomique du point qu'on a choisi comme *centre de réduction* avec les arcs du grand cercle que sous-tendent ces sécantes, et à prendre ensuite la moyenne de tous les angles ainsi déterminés.

Or, cette moyenne peut être obtenue très facilement avec une approximation suffisante.

En effet, pour déterminer le grand cercle qui, partant du point pris pour sommet du faisceau des sécantes ou pour *centre de réduction*, renferme dans son plan la sécante parallèle à un petit arc observé en un point donné, il suffit de joindre ce dernier point au *centre de réduction* par un arc du grand cercle qui forme la base d'un triangle sphérique, dont les deux autres côtés sont les portions du méridien du *centre de réduction* et du *point d'observation* considéré, compris entre ces points et le pôle de rotation de la terre. On résout ce triangle, et on connaît ainsi l'angle formé par l'arc de jonction des deux points avec leurs méridiens respectifs; on peut aussi déterminer la longueur de cet arc.

On résout ensuite le triangle sphérique rectangle dont ce même arc est l'hypothénuse et dont l'un des côtés de l'angle droit est la moitié de l'arc sous-tendu par la sécante qui correspond au point d'observation qu'on a considéré. On arrive ainsi à connaître la longueur de l'arc sous-tendu par cette sécante et l'angle formé par cet arc et le méridien du point choisi comme *centre de réduction*.

Ayant répété la même opération pour tous les points d'observation, on connaît les angles formés avec le méridien du *centre de réduction* par tous les arcs sous-tendus par les sécantes, et on n'a plus qu'à exécuter un simple calcul arithmétique.

Lorsqu'on doit s'en tenir à cette première partie du travail, à celle qui détermine la *tangente directrice*, l'opération, que je viens d'indiquer, peut recevoir, sans inconvénient, de grandes simplifications qui la rendent d'une pratique très facile.

On n'a plus besoin alors de connaître la longueur de l'arc sous-tendu par chaque sécante ; il suffit de connaître l'angle qu'il forme avec le méridien du *centre de réduction*. Cet angle lui-même n'a pas besoin d'être calculé directement ; on peut se borner à le supposer égal à celui que forme le petit arc observé au point d'observation auquel la sécante correspond avec le méridien de ce point , après avoir augmenté ou diminué cet angle d'une quantité égale à la *différence des angles alternes internes* que forme l'arc de jonction du *centre de réduction* et du *point d'observation* avec leurs méridiens respectifs.

Cette différence est connue par la résolution du triangle sphérique dont ces deux points et le pôle de rotation de la terre constituent les trois sommets ; et c'est la seule quantité pour la détermination de laquelle on ait besoin de recourir aux formules de la trigonométrie sphérique. Il est vrai que cette simplification introduit une inexactitude ; l'angle formé par le méridien du *centre de réductions* , avec chacun des arcs sous-tendus par les sécantes , se trouve augmenté ou diminué d'une quantité égale à l'*excès sphérique* (1) des trois angles du triangle sphérique rectangle dont la moitié de cet arc forme un des côtés de l'angle droit , et dont l'arc de jonction du *centre de réduction* avec le *point d'observation* correspondant forme l'hypothénuse. Mais il est aisé de voir que , dans la moyenne finale , les *excès sphériques* des triangles rectangles dont il s'agit doivent entrer les uns positivement , et les autres négativement , et que si le *centre de réduction* est habilement choisi , ces *excès sphériques* , dont chacun en particulier est ordinairement peu considérable , à moins que les points d'observation n'en soient répartis sur un très grand espace , doivent se détruire sensiblement , et n'influer sur la moyenne que d'une quantité négligeable. L'opération se réduit alors tout simplement à joindre le *centre de réduction* avec les points d'observation par autant d'arcs de grands cercles , et à déterminer la différence des angles alternes internes que ces arcs de jonction forment avec les méridiens de leurs deux extrémités.

J'ai souvent employé , pour résoudre ce problème , une méthode graphique dans laquelle je me sers de la *projection stéréographique* sur l'*horizon du Mont-Blanc* dont j'ai déjà parlé ci-dessus ; mais

(1) Voyez , pour la définition et le calcul de l'*excès sphérique* de la somme des trois angles d'un triangle sphérique , la géométrie de Legendre et les notes qui font suite à sa trigonométrie. (*Géométrie et trigonométrie de Legendre* , 40^e édit. , p. 225 et 424.)

j'ai préféré employer aujourd'hui la méthode trigonométrique.

Elle se réduit à la résolution d'une suite de triangles sphériques dont chacun a pour base l'arc de grand cercle qui joint le *centre de réduction* à l'un des points d'observation, et pour sommet le pôle de rotation de la terre ; il n'est pas même nécessaire, pour notre objet actuel, de résoudre ces triangles complètement : on n'a pas besoin de connaître la longueur de leur base ; il suffit de calculer les angles qu'elle forme avec les deux méridiens auxquels elle aboutit, pour en déduire la *différence des angles alternes internes qu'elle forme avec ces méridiens*, différence qui entre seule dans la suite du calcul.

Or, pour connaître cette différence avec une approximation suffisante, il n'est pas non plus nécessaire d'effectuer les calculs relatifs à tous les triangles sphériques indiqués. Ces calculs exigeraient beaucoup de temps, mais on peut les abréger singulièrement sans trop en diminuer la rigueur, au moyen du tableau suivant que j'ai formé des résultats obtenus par la résolution de trente-six triangles, ayant tous pour sommet le pôle boréal et pour leurs deux autres angles différents points de l'Europe pris à diverses latitudes, depuis la Laponie jusqu'en Grèce et en Sicile. Ayant eu l'idée de ranger les résultats suivant l'ordre des latitudes moyennes des deux sommets méridionaux de chaque triangle, j'ai vu de suite que les irrégularités de leur marche n'étaient pas assez grandes pour empêcher de faire entre eux des interpolations approximatives d'une exactitude suffisante pour la pratique dans le plus grand nombre des cas. J'ai pensé dès lors que leur publication pourrait avoir son utilité.

Tableau présentant, pour différents points de l'Europe, la différence des angles formés par leur ligne de jonction avec leurs méridiens respectifs.

Points comparés.	Latitudes.	Longitudes.	Latitude moyenne.	Différence des longitudes.	Différence des angles alt. int.	Rapports entre les diff. des long. et des ang. alt. int.
Laponie.	70°00' 00'' N	23°30' 00'' E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	62°17' 20''	28°39' 13''	25°42' 24''	1 : 0,89715
Viborg.	60 42 40	26 25 50 E				
Stockholm.	59 20 34	15 43 19 E	60 1 37	10 42 31	9 17 00	1 : 0,86690
Laponie.	70 00 00	23 30 00 E	60 2 39 $\frac{1}{2}$	11 25 00	10 13 00	1 : 0,89489
Prague.	50 5 19	12 5 00 E				
Gelle.	60 39 45	14 48 15 E	59 11 54 $\frac{1}{2}$	5 10 45	4 27 2	1 : 0,85932
Götheborg.	57 44 4	9 37 30 E				
Söderköping.	58 28 30	14 00 00 E	58 10 7 $\frac{1}{2}$	4 21 15	3 42 00	1 : 0,84970
Kongälf.	57 51 45	9 38 45 E				
Viborg.	60 42 40	26 25 50 E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	57 38 40	31 35 3	26 54 42	1 : 0,85206
Christiania.	59 55 20	8 28 30 E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	57 16 10	13 37 43	11 28 26	1 : 0,84186
Stockholm.	59 20 34	15 43 19 E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	56 57 47	20 52 32	17 34 24	1 : 0,84181
Laponie.	70 00 00	23 30 00 E				
Montagne Noire.	43 25 00	0 20 00 O	56 42 30	23 50 00	20 31 52	1 : 0,86084
Grampians.	56 25 00	6 37 00 O				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	55 30 00	1 28 00	1 42 32	1 : 0,82424
Götheborg.	57 44 4	9 37 20 E				
Church-Stretton.	52 35 00	5 10 20 O	55 9 32	14 47 40	12 10 40	1 : 0,82701
Viborg.	60 42 40	26 25 50 E				
Brest.	48°23' 14	6 49 35 O	54 32 57	33 15 25	27 29 52	1 : 0,82701
Grampians.	56 25 00	6 37 00 O				
Church-Stretton.	52 35 00	5 10 20 O	54 30 00	1 26 40	1 10 36	1 : 0,81462
Stockholm.	59 20 34	15 43 19 E				
Brest.	48°23' 14	6 49 35 O	53 51 54	22 33 4	18 21 32	1 : 0,81410
Grampians.	56 25 00	6 37 00 O				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	53 15 9 $\frac{1}{2}$	18 42 00	15 3 20	1 : 0,80510
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	53 11 44 $\frac{1}{2}$	13 25 33	10 46 10	1 : 0,80214
Brocken.	51 48 29	8 16 20 E				
Grampians.	56 25 00	6 37 00 O	52 32 1 $\frac{1}{2}$	2 16 34	1 48 40	1 : 0,79570
Saint-Malo.	48 39 3	4 21 26 O				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	52 20 9 $\frac{1}{2}$	17 14 13	13 41 42	1 : 0,79613
Prague.	50 5 19	12 5 00 E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	52 15 00	10 39 13	8 26 24	1 : 0,79219
Binger-Loch.	49 55 00	5 30 00 E				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	52 6 30	18 36 17	14 44 40	1 : 0,79254
Budweis.	49 38 00	13 26 54 E				
Church-Stretton.	52 35 00	5 10 20 O	51 6 30	18 37 14	14 32 54	1 : 0,78130
Budweis.	49 38 00	13 26 54 E				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	50 1 00	2 50 31	2 10 54	1 : 0,76767
Bayreuth.	49 56 41	9 15 29 E				
Payreuth.	49 56 41	9 15 29 E	49 55 50 $\frac{1}{2}$	3 45 29	2 52 35	1 : 0,76539
Binger-Loch.	49 55 00	5 30 00 E				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	49 22 11	16 26 26	12 28 24	1 : 0,75811
Saint-Malo.	48 39 3	4 21 26 O				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	49 17 39 $\frac{1}{2}$	18 15 00	13 53 10	1 : 0,76088
Morlaix.	48 30 00	6 10 00 O				
Binger-Loch.	49 55 00	5 30 00 E	49 17 1 $\frac{1}{2}$	9 51 26	7 28 46	1 : 0,75878
Saint-Malo.	48 39 3	4 21 26 O				
Saint-Malo.	48 39 3	4 21 26 O	48 31 8 $\frac{1}{2}$	2 28 9	1 51 00	1 : 0,74924
Brest.	48 23 14	6 49 35 O				
Keswick.	54 35 00	5 9 13 O	48 15 00 $\frac{1}{2}$	11 33 2	8 44 22	1 : 0,75663
Ajaccio.	41 55 1	6 23 49 E				
Church Stretton.	52 35 00	5 10 20 O	47 55 43 $\frac{1}{2}$	9 28 49	7 3 50	1 : 0,74511
Saint-Tropez.	43 16 27	4 18 29 E				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	46 45 9 $\frac{1}{2}$	12 25 00	9 4 36	1 : 0,73101
Montagne Noire.	43 25 00	0 20 00 O				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	46 40 53	7 46 31	5 39 00	1 : 0,72766
Saint-Tropez.	43 16 27	4 18 29 E				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	46 00 10	5 41 11	4 7 40	1 : 0,72590
Ajaccio.	41 55 1	6 23 49 E				
Prague.	50 5 19	12 5 00 E	45 33 23	14 50 00	10 39 8	1 : 0,71798
Constantinople.	41 1 27	26 35 00 E				
Montagne Noire.	43 25 00	0 20 00 O	43 20 43 $\frac{1}{2}$	4 38 29	3 41 28	1 : 0,69830
Saint-Tropez.	43 16 27	4 18 29 E				
Brest.	48 23 14	6 49 35 O	43 17 8 $\frac{1}{3}$	20 4 5	13 53 26	1 : 0,69217
Messine.	38 11 3	13 14 30 E				
Brest.	48 23 14	6 49 35 O	43 1 13	28 30 54	19 44 42	1 : 0,69244
Cap Colonne.	37 39 12 N	21 41 19 E				

Les trois premières colonnes de ce tableau, vers la gauche, indiquent, deux par deux, les points de l'Europe qui ont formé, avec le pôle boréal, les trois sommets de chaque triangle, ainsi que leurs latitudes et leurs longitudes. Les deux colonnes suivantes indiquent la moyenne des latitudes et la différence des longitudes des deux sommets de chaque triangle adjacents à sa base. La sixième colonne indique la différence des angles alternes internes formés par l'arc du grand cercle qui joint les deux sommets méridionaux de chaque triangle avec les méridiens de ces deux points, qui forment les deux autres côtés du triangle. Cette différence est le moyen de comparaison des orientations observées aux deux sommets méridionaux.

Enfin, la septième et dernière colonne du tableau indique le rapport qui existe dans chaque triangle entre l'angle au pôle, qui n'est autre que la *différence des longitudes* des deux sommets méridionaux, et la *différence des angles alternes internes* formés par l'arc de grand cercle qui joint ces deux sommets avec leurs méridiens respectifs.

En examinant attentivement le tableau, on verra que ce rapport décroît avec une certaine régularité à mesure que la latitude moyenne des deux sommets méridionaux du triangle diminue, c'est à dire à mesure que ce triangle s'allonge vers l'équateur et pproche de devenir un demi-fuseau. Il est aisé de concevoir qu'en effet le rapport dont il s'agit doit suivre cette marche décroissante. Si le triangle était infiniment petit et que les deux sommets méridionaux fussent à une distance infiniment petite du pôle, le rapport serait celui de l'égalité, 1 à 1. Si le triangle était équivalent à un demi-fuseau, ce qui suppose que l'un des sommets méridionaux du triangle est aussi éloigné de l'équateur vers le S. que l'autre vers le N., le rapport serait celui de 1 à zéro. Si le triangle était isocèle, ce qui suppose que les deux sommets méridionaux sont à la même latitude, le rapport s'obtiendrait par la résolution de l'un des deux triangles rectangles dont le triangle isocèle se composerait, et le rapport des tangentes des deux angles serait égal à celui de l'unité au sinus de la latitude. Enfin, dans le cas ordinaire où les deux sommets méridionaux du triangle ont des latitudes inégales, le second rapport a la valeur qu'il aurait s'ils étaient ramenés l'un et l'autre à leur latitude moyenne augmentée d'une petite quantité. En effet, la différence entre la différence des longitudes des deux sommets méridionaux du triangle et celle des angles alternes internes formés par l'arc qui les joint avec leurs méridiens respectifs est égale à l'*excès sphérique* des trois angles du

triangle lui-même, et la somme des deux côtés de ce triangle qui aboutissent au pôle étant constante, l'*excès sphérique* de ses trois angles, qui est proportionnel à sa surface, est d'autant plus grand que les deux côtés approchent plus de l'égalité. Quand le milieu de la base se trouve sur l'équateur, l'*excès sphérique* est égal à l'angle au pôle, c'est-à-dire à la différence de longitude des deux côtés méridionaux, d'où il résulte que la différence des angles alternes internes formés par la base avec les deux méridiens est nulle, et que le rapport est, comme nous venons de le dire, celui de 1 à zéro. Il en serait de même si, la base étant oblique, elle avait son point milieu sur l'équateur.

J'ai été étonné au premier abord de la petitesse des irrégularités que présente dans sa marche le rapport qui nous occupe, car il me paraissait naturel de croire que pour des points placés d'une manière aussi disparate que ceux qui entrent dans le tableau, le rapport de la septième colonne aurait varié d'une manière plus irrégulière. D'une autre côté, si l'on remarque que la marche décroissante de ce rapport n'est pas complètement régulière, et présente même des anomalies, on pourra s'étonner que j'aie consigné ici cette série irrégulière. J'aurais pu en obtenir une parfaitement régulière en considérant une suite de triangles isocèles, qui tous auraient eu le même angle au sommet, et dont chacun aurait eu ses deux sommets méridionaux à la même latitude. Chacun d'eux se serait décomposé en deux triangles rectangles, et dans chacun de ceux-ci on aurait pu calculer la différence des angles alternes internes formés par la base avec les méridiens extérieurs au moyen de la formule : $\text{tang } C = \sin a \text{ tang } B$, où a représente la latitude comptée, comme à l'ordinaire, à partir de l'équateur, et B l'angle au pôle; formule dans laquelle on lit que dans ce cas le rapport de la septième colonne décroîtrait régulièrement du pôle, où il serait 1 : 1, à l'équateur, où il serait 1 : 0. Mais il n'y a aucune raison pour remplacer une formule très simple par un pareil tableau, qui lui-même n'aurait pu être appliqué à des triangles non isocèles et même à des triangles isocèles où l'angle B aurait eu une valeur différente de celle employée, que d'une manière approximative et sans qu'on pût apprécier le degré de l'approximation, tandis que le tableau que je présente fait voir d'un coup d'œil de quel ordre est l'erreur, toujours assez peu considérable, que l'on est exposé à commettre pour des points de latitudes différentes, et tous renfermés dans l'étendue de l'Europe, en remplaçant le calcul d'un triangle sphérique par une simple proportion dont il fournit le rapport. Il demeure bien entendu que ce tableau, de même que

la projection stéréographique dont j'ai déjà parlé, n'est qu'un instrument expéditif de tâtonnement, et que, si l'on veut obtenir un résultat absolument rigoureux, il faut prendre le temps d'exécuter le calcul trigonométrique; mais en pareille matière on a plus à craindre d'être induit en erreur par les illusions qu'un simple calcul approximatif aurait fait disparaître, que par les inexactitudes que ce calcul pourrait renfermer.

Les géologues qui se livrent à des rapprochements entre les directions des différents accidents que présente l'écorce terrestre doivent toujours être en garde contre les illusions qui résultent de la forme sphérique de la terre et de la manière dont elle est représentée sur les cartes géographiques.

Au moyen du tableau ci-dessus on pourra dissiper ces illusions pour ainsi dire d'un trait de plume, et son emploi pourra être utile non seulement pour les calculs qui me l'ont fait construire, mais pour une foule de tâtonnements géométriques relatifs à des comparaisons de directions.

La combinaison élémentaire dont ces tâtonnements se composent consiste essentiellement à examiner si deux petits arcs de grands cercles placés sur la sphère, à quelque distance l'un de l'autre, sont exactement ou à peu près parallèles entre eux.

Ces deux petits arcs, d'après la définition rappelée ci-dessus, seront exactement parallèles entre eux, si un même grand cercle les coupe l'un et l'autre perpendiculairement par leur point milieu; mais ils seront déjà très voisins du parallélisme, si l'arc du grand cercle qui joint le milieu de l'un au milieu de l'autre est peu étendu, et fait avec eux des angles alternes internes égaux. En effet, ils feront alors partie des deux côtés d'un fuseau de peu de largeur, dont le milieu de l'arc de jonction sera le centre; ils occuperont sur les deux côtés de ce fuseau des positions symétriques, et prolongés l'un et l'autre jusqu'à l'équateur du fuseau, ils y seront exactement parallèles. Considérés dans les points mêmes où ils ont été observés, ils ne peuvent être parallèles l'un à l'autre que par l'intermédiaire d'un *grand cercle de comparaison*. Il est assez naturel de choisir pour *grand cercle de comparaison* l'un des deux arcs prolongé, et dans ce cas le défaut de parallélisme que les deux arcs présenteront dans les points où on les a observés a pour mesure l'*excès sphérique* du triangle rectangle formé par l'arc de jonction des points milieu des deux arcs, par l'un des deux arcs prolongés, et par la perpendiculaire abaissée sur son prolongement du point milieu de l'autre arc. A moins que ce triangle ne soit très grand, ce qui suppose les deux points très éloi-

gnés l'un de l'autre, l'*excès sphérique* dont il s'agit sera toujours peu considérable ; les deux petits arcs pourront donc , dans le plus grand nombre des cas , être considérés comme sensiblement parallèles si l'arc qui joint leurs points milieu forme avec eux des angles alternes internes égaux.

Réciproquement , si en un point donné on veut tracer un petit arc de grand cercle parallèle à un autre petit arc de grand cercle existant en un autre point de la sphère , il suffit de joindre les deux points par un arc de grand cercle , et de tracer le nouvel arc de manière qu'il fasse avec l'arc de jonction le même angle que l'arc observé.

En opérant de cette manière pour transporter une direction d'un point à un autre , on se rapproche , autant que possible , du procédé par lequel on trace , par un point donné d'un plan , une parallèle à une droite donnée dans ce plan. On a égard à la convergence des méridiens vers le pôle de rotation de la terre , comme on aurait égard sur un plan à la convergence des rayons vecteurs vers leur foyer ; mais on fait abstraction , du reste , des effets de la courbure de la terre.

Pour se rendre raison de cette espèce de départ qu'on opère ainsi , entre deux effets provenant l'un et l'autre d'une même cause , la sphéricité de la terre , il suffit d'imaginer qu'on détache le réseau des points d'observation de la partie de la sphère terrestre à laquelle il appartient pour l'appliquer , sans le déformer , sur la zone torride , de manière que la ligne équinoxiale le divise en deux parties égales. On pourra alors , sans commettre de bien grandes erreurs , considérer les méridiens comme des droites parallèles , et transporter une direction d'un point à un autre par le même procédé que si on opérât sur un plan. On pourra , par exemple , prendre un point de la ligne équinoxiale pour *centre de réduction* , et mener par ce point des droites formant avec le méridien du lieu les mêmes angles que chacun des petits arcs observés avec les méridiens respectifs de leurs points milieu , puis prendre la moyenne des directions ainsi transportées en un même point , comme on le ferait sur un plan. Or , la zone torride , où la terre , abstraction faite de l'aplatissement , dont nous ne tenons aucun compte , est courbe comme partout ailleurs , ne présente ici d'autre avantage que le parallélisme presque exact des méridiens , parallélisme qui dispense de considérer la différence des angles alternes internes que fait avec deux méridiens différents un arc du grand cercle qui les coupe. Mais la courbure de la terre est ici , comme partout ailleurs , la

source d'une petite erreur, mesurée dans la comparaison de deux points, par l'*excès sphérique* de la somme des trois angles d'un triangle rectangle, dont l'hypothénuse est l'arc qui joint les deux points et dont l'un des côtés de l'angle droit est la prolongation du petit arc observé.

On pourrait aussi imaginer que le réseau des points d'observation, après avoir été enlevé de la surface de la sphère terrestre, fût appliqué sans déformation sur la région polaire, de manière à ce que son point central coïncidât avec le pôle qui deviendrait le *centre de réduction*. Chaque petit arc observé sur la surface de la sphère serait transporté au pôle de manière à y faire encore le même angle avec le méridien de son point milieu; puis on prendrait la moyenne des directions de tous ces petits arcs transportés au pôle. Ce serait opérer comme si on avait substitué à la surface sphérique de la terre un plan qui lui serait tangent au pôle même. Les méridiens seraient sensés développés sur des droites passant par le pôle, et les parallèles deviendraient des cercles ayant le pôle pour centre commun. Pour les points très voisins du pôle, cette substitution n'entraînerait que des erreurs insensibles; mais à mesure qu'on s'éloignerait du pôle l'inexactitude serait de plus en plus grande. Dans le transport de tous les petits arcs observés au pôle exécuté ainsi, comme si on opérât sur un plan, il y aurait réellement un petit défaut de parallélisme entre l'arc transporté et celui qui aurait servi de point de départ, et ce défaut de parallélisme aurait toujours pour mesure l'*excès sphérique* du triangle rectangle, dont l'arc de jonction du point d'observation au *centre de réduction* est l'hypothénuse, et dont le petit arc observé, prolongé autant qu'il est nécessaire, forme un des côtés de l'angle droit.

Dans tout l'espace intermédiaire entre la région équatoriale et la région polaire, les méridiens et les parallèles, qui servent de coordonnées pour déterminer les positions des points sur la surface du globe, cessent de pouvoir se construire sans erreur sensible sur des coordonnées rectangulaires ou sur des coordonnées polaires tracées sur un plan; ils ont en quelque sorte une manière d'être intermédiaire entre celle des coordonnées rectangulaires et celle des coordonnées polaires. Projetés de telle manière qu'on voudra sur un plan qui serait tangent à la sphère terrestre vers le milieu de l'hémisphère boréal, les méridiens seront toujours représentés par les lignes convergentes. On doit avant tout tenir compte de cette convergence, et on y parvient au moyen de la résolution d'un triangle sphérique, ou par l'emploi plus expéditif du tableau

donné ci-dessus; on fait ainsi l'équivalent exact de l'opération que je viens d'indiquer pour les régions polaires et équatoriales. Mais tenir compte de cette disposition des coordonnées n'est pas encore tenir un compte complet de la courbure de la surface, et l'erreur commise a toujours pour mesure, dans ce cas comme dans les précédents, l'*excès sphérique* de ce même triangle rectangle dont j'ai indiqué les éléments.

La région polaire et la région équatoriale, ainsi que nous venons de le dire, n'ont ici d'autre avantage que la simplicité de la disposition des méridiens et des parallèles, qui sont les coordonnées au moyen desquelles les positions des points sont déterminées sur la surface de la sphère, et qui peuvent, sans erreur notable, être construites sur des coordonnées planes, savoir: pour la région équatoriale, sur des coordonnées rectangulaires, et pour la région polaire, sur des coordonnées polaires.

Les dispositions particulières que présentent ainsi les coordonnées sphériques dans les diverses régions de la sphère correspondent à celles qu'y présente la spirale loxodromique. On sait que l'arc de loxodromie qui coupe l'équateur se confond avec un arc d'hélice tracé sur le cylindre qui enveloppe la terre suivant son équateur, arc dont le développement est une ligne droite, et que la partie de la loxodromie qui se trouve à une très petite distance du pôle ne diffère pas d'une manière appréciable d'une spirale logarithmique; l'hélice et la spirale logarithmique sont des simplifications que la loxodromie éprouve en deux points particuliers de son cours sans que ses propriétés en soient altérées. De même les simplifications que la disposition particulière des méridiens apporte à certaines constructions près des pôles et de l'équateur ne change rien à la valeur réelle de ces constructions, et laisse exactement la même erreur que l'on commet lorsqu'on opère relativement aux deux extrémités d'un arc du grand cercle tracé sur la sphère, comme on opérerait aux deux extrémités d'une ligne droite tracée sur un plan. Or, c'est là précisément ce qu'on fait lorsque, en s'en tenant à la première partie des opérations que j'ai indiquées, on trace aux deux extrémités d'un arc du grand cercle placé sur la sphère terrestre d'autres arcs, qui forment avec lui des angles alternes internes respectivement égaux; car on fait abstraction de la courbure de cet arc, tout en tenant compte de la diversité des angles sous lesquels il coupe les différents méridiens.

Cette diversité des angles sous lesquels l'arc de jonction des deux localités coupe les différents méridiens est toujours en effet la première chose à considérer. Lorsqu'on veut comparer la topographie

géologique d'une localité à celle d'une autre localité sous le rapport du parallélisme des accidents qui s'y observent, la première chose à faire est de déterminer la différence des angles alternes internes que forment, avec les méridiens des deux localités, l'arc de grand cercle qui les joint.

Des lignes (de petits arcs de grands cercles réduits à leurs tangentes), menées dans les deux localités perpendiculairement à l'arc qui les joint, seraient parallèles entre elles, dans toute la rigueur de l'expression. Si ensuite on faisait tourner ces petits arcs de quantités égales et dans le même sens, ils conserveraient encore l'apparence du parallélisme, mais ils ne seraient plus rigoureusement parallèles; ils occuperaient des positions symétriques dans un fuseau dont le point central serait au milieu de l'arc de jonction des deux localités, et ils s'écarteraient d'autant plus du parallélisme que le fuseau serait plus large et qu'ils seraient plus éloignés de son équateur. On pourrait faire tourner le petit arc de grand cercle de l'une des contrées de manière à le rendre parallèle au prolongement de l'arc tracé dans l'autre contrée, c'est-à-dire perpendiculaire à un arc de grand cercle, perpendiculaire lui-même à l'arc prolongé. Or, la quantité dont le premier petit arc aurait tourné pour prendre cette position aurait pour mesure, comme il est aisé de le lire sur la figure même, l'*excès sphérique* de la somme des trois angles du triangle rectangle formé par l'arc de jonction des deux localités, par le petit arc prolongé et par la perpendiculaire abaissée de l'autre localité sur son prolongement.

L'*excès sphérique* de la somme des trois angles de certains triangles sphériques donne si souvent la mesure des erreurs qui se glissent presque inaperçues dans la comparaison des positions de différents arcs de grands cercles tracés sur une sphère, qu'il est naturel de chercher à se rendre compte, par la considération même de l'*excès sphérique*, de la grandeur que peuvent atteindre, dans tels ou tels cas, les erreurs dont il s'agit.

L'*excès sphérique* se trouve introduit dans les *calculs géologiques* par des motifs analogues à ceux qui le font prendre en considération dans les *calculs géodésiques*. On se sert de l'*excès sphérique* en géodésie pour ramener le calcul d'un triangle sphérique à celui d'un triangle plan; on s'en sert en géologie pour corriger l'erreur que l'on commet en supposant que la surface de la terre se confond avec un plan qui lui serait tangent dans le milieu de la contrée dont on s'occupe.

Rien n'est si fréquent que de raisonner et d'opérer comme si la surface de la terre se confondait avec son plan tangent. On y est

conduit par l'apparence de platitude que cette surface présente à nos regards et par l'habitude de la voir représentée sur des cartes géographiques qui sont des feuilles de papier planes.

Pour nous bien rendre compte des erreurs qui peuvent résulter de cette substitution du plan tangent à la surface sphérique, analysons d'abord une opération très simple.

Lorsqu'on veut planter une longue et large *avenue*, telle par exemple que celle des *Champs-Élysées* à Paris, on commence par en fixer la ligne médiane avec des jalons alignés; puis, aux deux extrémités de cette ligne médiane, on lui élève de part et d'autre des perpendiculaires d'une longueur égale à la moitié de la largeur de l'avenue, et on fixe ainsi les deux extrémités des deux files d'arbres qui doivent la composer; enfin on aligne tous les arbres de chaque file d'après leurs points extrêmes.

Si l'opération est exécutée avec une rigueur mathématique, chacune des deux files d'arbres est un arc de grand cercle et ces deux arcs font partie d'un fuseau dont le milieu de la ligne médiane est le centre. Ils n'ont de rigoureusement parallèles que les deux éléments situés au milieu de leur longueur. Prolongés l'un et l'autre à chacune de leurs extrémités par une suite de jalons, ils iraient se rencontrer aux deux extrémités opposées d'un même diamètre de la sphère terrestre; prolongés par leurs tangentes extrêmes, ils se rencontreraient aussi à des distances qui, sans doute, seraient très grandes, mais qui ne seraient pas infinies.

On pourrait se proposer de mener par l'extrémité de l'un de ces arcs une ligne exactement parallèle à l'extrémité correspondante de l'autre arc, et de déterminer quel angle ferait cette ligne avec l'extrémité du premier arc. On aurait ainsi la mesure du plus grand défaut de parallélisme qui existe dans la figure.

Cette détermination peut se faire de deux manières; par les formules ordinaires de la trigonométrie sphérique, ou par cette considération que l'angle cherché est égal à l'*excès sphérique* de la somme des trois angles d'un triangle sphérique rectangle, où les côtés de l'angle droit sont un des côtés de l'avenue, et la perpendiculaire abaissée sur ce côté légèrement prolongé de l'extrémité du côté opposé.

Prenons un exemple, et le calcul même éclaircira cette double proposition.

Supposons que l'avenue dont il s'agit ait 1,000 mètres de longueur et 50 mètres de largeur. La diagonale de cette avenue formera avec l'un des côtés et avec la perpendiculaire abaissée sur celui-ci de l'extrémité de l'autre côté un triangle sphérique rec-

tangle où les deux côtés b et c de l'angle droit seront : 1° b , l'un des côtés de l'avenue, dont la longueur est de 1,000 mètres, prolongé d'une quantité négligeable ; 2° c , la perpendiculaire abaissée de l'extrémité du second côté de l'avenue sur le premier légèrement prolongé, perpendiculaire dont la longueur ne différera pas sensiblement de 50 mètres.

Pour déterminer en degrés, minutes et secondes les valeurs de

$$b \text{ et } c, \text{ on aura } c = \frac{b}{20}$$

$$b : 360 :: 1,000^m : 40,000,000^m.$$

$$b = \frac{360^{\circ}, 1000}{40,000,000} = \frac{36^{\circ}}{4,000} = \frac{540'}{1,000} = 32'', 4$$

$$c = \frac{32'', 4}{20} = 1'', 620.$$

Les deux angles aigus B et C de ce triangle doivent se déterminer par les formules ;

$$\text{tang B} = \frac{\text{tang } b}{\sin c} \quad \text{tang C} = \frac{\text{tang } c}{\sin b};$$

mais, dans le cas actuel, les valeurs de B et de C qu'il s'agit de tirer de ces formules forment une somme si peu différente d'un angle droit, que la différence ne peut être calculée avec les tables de logarithmes ordinaires, ce qui montre que l'excès sphérique du triangle dont nous nous occupons est à peu près inappréciable.

En effet, en recourant au second mode de calcul, on trouve d'après la formule de Legendre (1), pour l'excès sphérique du

$$\text{triangle que nous considérons, } \epsilon = \frac{R b c \sin A}{2 r^2} = 0'', 00012733,$$

c'est-à-dire environ 13 cent millièmes de seconde sexagésimale, quantité absolument imperceptible ; ce qui montre que les deux côtés de l'avenue, dont nous avons parlé, doivent paraître bien réellement deux lignes droites parallèles.

Mais l'application des mêmes formules prouve qu'il n'en serait plus ainsi d'une avenue mille fois plus grande : or les rapprochements auxquels on se livre de prime abord lorsqu'on veut comparer entre eux, sous le rapport de leur parallélisme, les accidents topographiques d'une vaste contrée, ses chaînes de montagnes,

(1) Legendre, *Géométrie et trigonométrie*, 40^e édition, p. 426.

ses côtes, ses rivières, reviennent à peu près à concevoir une avenue très longue et d'une largeur plus ou moins grande, tracée à travers cette contrée, et à examiner si les accidents topographiques que l'on compare pourraient en border les côtés.

Concevons une pareille avenue, de dimensions mille fois plus grandes que celle dont nous venons de nous occuper, c'est-à-dire ayant 1,000 kilomètres de longueur et 50 kilomètres de largeur.

En raisonnant sur cette avenue exactement comme sur la précédente, nous aurons à résoudre par les formules,

$$\text{tang } B = \frac{\text{tang } b}{\sin c} \quad \text{et} \quad \text{tang } C = \frac{\text{tang } c}{\sin b}$$

un triangle sphérique rectangle, dans lequel les deux côtés de l'angle droit seront :

$$\begin{aligned} b &= 9^\circ = 32400'' \\ c &= 27' = 1620'' \end{aligned}$$

on trouvera $B = 87^\circ 9' 43'',28$ $C = 2^\circ 52' 27'',30$, la somme de ces deux angles surpasse 90° de $2' 10'',58$, qui représentent l'*excès sphérique* du triangle rectangle dont il s'agit.

Calculé par la formule de Legendre, l'*excès sphérique* du même triangle est de $127'',33$ ou de $2' 7'',33$. La différence de $3''$ qui existe entre cette solution et la précédente tient à ce que la formule approximative qui donne l'*excès sphérique* n'est déjà plus parfaitement exacte pour un triangle de mille kilomètres de côté.

Maintenant, si de l'extrémité de l'un des côtés de notre grande avenue idéale on abaisse une perpendiculaire sur le second côté prolongé d'une petite quantité, puis, que par l'extrémité du premier côté on mène une perpendiculaire à cette perpendiculaire, celle-ci sera rigoureusement parallèle à l'extrémité du second côté, et elle fera avec le premier côté un angle égal à l'*excès sphérique* que nous venons de calculer, c'est-à-dire de $2' 10'',58$.

Telle est l'erreur la plus grande que comporte, par suite de la sphéricité de la terre, la construction idéale à laquelle nous avons fait allusion en imaginant la vaste avenue dont nous venons de parler; mais il est à remarquer que l'*excès sphérique* des trois angles d'un triangle étant proportionnel à sa surface, la même construction répétée pour une avenue de 100 kilomètres de largeur comporterait une erreur de $4' 21'',16$; pour 200 kilomètres de largeur, $8' 42'',32$; pour 1,000 kilomètres de largeur l'erreur serait de $43' 31'',6$. Elle n'atteindrait un degré qu'autant que l'avenue de

1,000 kilomètres de longueur aurait une largeur de 1,378 kilomètres, c'est-à-dire plus grande que sa longueur.

La diagonale du quadrilatère sphérique orthogonal, dont le côté est de 1,000 kilomètres, est elle-même d'environ 1,000^m. $\sqrt{2} = 1,414$ kilomètres, qui font environ 350 lieues. Or, il est aisé de voir que l'erreur commise sur le parallélisme de deux lignes passant par deux points donnés de la surface terrestre sera la plus grande possible si ces lignes font avec la ligne de jonction des deux points des angles d'environ 45°; car l'erreur est nulle si les lignes comparées sont perpendiculaires à la ligne de jonction des deux points : elle redevient nulle si les deux lignes coïncident avec la ligne de jonction des deux points : l'erreur maximum correspond évidemment à la position moyenne entre ces deux extrêmes; ainsi qu'on peut d'ailleurs le démontrer par la formule même de Legendre.

De là on peut conclure que tant que deux points ne sont pas éloignés de plus de 1,400 kilomètres ou 350 lieues, l'erreur qu'on peut commettre sur le parallélisme de deux lignes qui y passent, en faisant abstraction de la courbure de la terre, ne va jamais à 44'.

Embrassons un espace un peu plus grand encore. Concevons que par un point de la surface de la terre on mène deux grands cercles perpendiculaires entre eux, qui pourront être, par exemple, une méridienne et sa perpendiculaire, mais qui pourront avoir aussi une tout autre orientation. A partir du point où les deux grands cercles se coupent à angle droit, mesurons sur chacun d'eux une distance égale à 7° 1/2 du méridien, et par les quatre points ainsi déterminés élevons sur les deux grands cercles des perpendiculaires. Par cette construction, qui est analogue à celle sur laquelle repose la *projection de Cassini*, nous formerons un quadrilatère sphérique orthogonal dont les quatre côtés seront égaux, et dont les quatre angles seront de même égaux entre eux, quadrilatère qui se rapprochera d'un carré autant que peut le faire une figure tracée sur une sphère. Ce quadrilatère serait même un carré exact s'il était infiniment petit, mais il aura un diamètre égal à 15° du méridien, et ses quatre angles égaux entre eux surpasseront chacun 90° d'une quantité qui, répétée quatre fois, formera ce qu'on pourra appeler l'*excès sphérique* de la figure entière.

Maintenant les quatre côtés du quadrilatère sont rigoureusement parallèles deux à deux dans leurs points milieu; mais à leurs extrémités ils ne sont plus parallèles, bien que les diagonales fassent avec eux des angles égaux; ils s'écartent du parallélisme d'une

quantité égale à la moitié de l'*excès sphérique* de la figure totale, c'est-à-dire au double de l'*excès* de chacun des quatre angles sur 90° . Il est aisé de voir que cette quantité est égale à quatre fois l'*excès sphérique* d'un triangle sphérique rectangle dont l'un des côtés de l'angle droit est de $7^\circ \frac{1}{2}$, et dont l'un des angles aigus est de 45° . Le second angle aigu C de ce triangle se calcule par la formule $\cos C = \cos c \sin B$, qui donne $\cos C = \cos 7^\circ 30' \sin 45^\circ$ et $C = 45^\circ 29' 17''$. Cet angle excède 45° de $29' 17''$, et, en quadruplant cette quantité, ce qui donne $1^\circ 57' 8''$, on a celle dont les extrémités correspondantes des côtés de notre quadrilatère s'écartent du parallélisme.

Or, notre quadrilatère a une largeur égale à 15° du méridien, c'est-à-dire à environ 1,667 kilomètres, ou un peu plus de 400 lieues. Il pourrait embrasser la France avec la plus grande partie des Iles Britanniques, de l'Allemagne et de l'Italie septentrionale. Les deux points situés aux deux extrémités d'une de ses diagonales sont éloignés de plus de 2,350 kilomètres ou de près de 600 lieues, et cependant l'erreur la plus grande qu'on puisse commettre en comparant des lignes situées aux deux extrémités de cette diagonale de la manière la plus défavorable ne s'élève pas à 2° . Ce résultat est conforme au précédent, auquel nous étions parvenus par une voie un peu différente, car pour des distances bien éloignées encore d'être égales au quart du méridien, les excès sphériques de triangles semblables auxquels elles servent de base sont à peu près proportionnels à leurs carrés; or on a $(1414)^2 : 43' 31'',6 :: (2350)^2 : x = 2^\circ 0' 13''$, proportion dont le quatrième terme ne diffère de $1^\circ 57' 8''$ que de $3' 5''$, et cette différence vient en partie de ce que je n'ai calculé que d'une manière approximative les diagonales dont j'ai comparé les carrés. La diagonale de 2,350 kilomètres est à peu près égale à la distance de Lisbonne à la pointe nord de l'Écosse, ou de Naples à Christiania. On peut conclure de là que lorsque l'on comparera entre elles des directions observées dans l'Europe occidentale moyenne, en négligeant l'effet de la courbure de la terre, mais en tenant compte de la convergence des méridiens vers le pôle, on ne commettra que rarement une erreur de 2° .

Il y aurait cependant un cas où les erreurs pourraient devenir plus considérables; ce serait celui où on procéderait de manière à en accumuler plusieurs: ce qui arriverait par exemple si, au lieu de comparer directement un point à un autre, on le comparait par l'intermédiaire d'un troisième, ainsi qu'on peut le faire impunément lorsqu'on opère sur un plan. En effet, on ajoute alors à

l'erreur qui résulterait de la distance des deux points comparés une quantité égale à l'excès sphérique des trois angles du triangle formé par les deux points comparés et par le point intermédiaire, quantité qui peut être additive aussi bien que soustractive.

Ceci s'éclaircira par quelques exemples. Il s'agit, par exemple, de savoir quelle devrait être l'orientation d'une ligne passant à Bayreuth pour qu'elle fût parallèle à une ligne passant au Binger-Loch, sur le Rhin, au-dessous de Bingen, et dont l'orientation est donnée.

Pour y parvenir d'une manière approximative, en faisant abstraction de la courbure de la terre, on joint le Binger-Loch à Bayreuth par un arc de grand cercle, et on détermine la différence des angles alternes internes formés par cet arc avec les méridiens du Binger-Loch et de Bayreuth. La différence est de $2^{\circ} 52' 25''$, de manière que si une ligne se dirige au Binger-Loch, à l'E. 32° N., celle qui, à Bayreuth, fera le même angle avec l'arc de jonction, et qui sera réputée parallèle à la première, se dirigera à l'E. $29^{\circ} 7' 35''$ N.

Mais si on commence par mener une parallèle à la ligne donnée au Binger-Loch, par la cime de Brocken, point le plus élevé du Hartz, puis que par Bayreuth on mène une parallèle à celle menée par le Brocken, on trouvera que du Binger-Loch au Brocken la différence des angles alternes internes formés par la ligne de jonction des deux points avec leurs méridiens respectifs est de $2^{\circ} 9' 2''$. Du Brocken à Bayreuth, la différence est de $46' 2''$. D'après les positions de ces divers points, les différences doivent s'ajouter, ce qui donne $2^{\circ} 55' 4''$ au lieu de $2^{\circ} 52' 25''$ pour la différence d'orientation que devraient présenter deux directions parallèles entre elles, l'une au Binger-Loch, l'autre à Bayreuth. La différence est de $2' 39''$.

Il est aisé de voir que cette différence doit être exactement égale à l'excès sphérique du triangle Binger-Loch — Brocken — Bayreuth, et tout en me bornant à la calculer par des moyens expéditifs, je lui ai trouvé une valeur bien peu différente de celle-là. En effet, les longueurs des trois côtés de ce triangle (mesurées simplement sur la carte) sont de 289 kilomètres (72 lieues), de 272 kilomètres (68 lieues) et de 219 kilomètres (54 lieues), et l'angle compris entre les deux premiers est de $45^{\circ} 45'$. De là il résulte, d'après la formule de Legendre, que l'excès sphérique du triangle est de $2' 23''$: cela fait $16''$ seulement de moins que nous n'avions trouvé il y a un instant, et il est à remarquer qu'outre les légères inexactitudes qu'entraîne nécessairement l'emploi du

tableau de la page 881, je me suis borné à calculer l'*excès sphérique* d'après des mesures grossières. Une petite partie de cette différence peut aussi résulter de ce que le triangle Binger-Loch—Brocken — Bayreuth est beaucoup plus grand que les triangles de 8 à 10 lieues de côté, généralement employés dans les réseaux géodésiques et auxquels la formule est particulièrement adaptée.

Dans l'exemple donné par Legendre, les deux côtés du triangle employés dans le calcul ont seulement, l'un 38,829 mètres (9 lieues) et l'autre 33,260 mètres (8 lieues), et l'*excès sphérique* est seulement de 9'',48 décimales, qui correspondent à 3'',07 sexagésimales; cette quantité est complètement négligeable dans une opération géologique: ainsi, quand on compare des points situés seulement à 8 ou 10 lieues les uns des autres, il n'y a absolument aucun motif pour tenir compte de la courbure de la terre, et par conséquent il est indifférent de comparer les points entre eux directement ou par l'intermédiaire les uns des autres. Quoique l'*excès sphérique* de la somme des trois angles d'un triangle soit proportionnel à sa surface, elle n'est encore que bien peu considérable et bien peu importante au point de vue géologique dans le triangle Binger-Loch—Brocken—Bayreuth, puisqu'elle se réduit à 2' 23''; d'où il résulte que, même en opérant sur cette échelle, on peut encore comparer les points entre eux dans un ordre quelconque, sans craindre d'accumuler des erreurs appréciables en géologie. Mais il n'en serait plus de même s'il s'agissait de comparer des points éloignés de 12 à 1,600 kilomètres (300 à 400 lieues).

Considérons, par exemple, le triangle dont les trois sommets seraient Keswick en Cumberland, Prague en Bohême et Ajaccio en Corse.

On trouve que de Keswick à Prague la différence des angles alternes internes que forme la ligne de jonction des deux points avec leurs méridiens respectifs, calculée rigoureusement, est de 13° 41' 42'', tandis que de Keswick à Ajaccio cette différence est de 8° 44' 22'', et d'Ajaccio à Prague de 4° 7' 40''. Ces deux dernières différences réunies ne donneraient que 12° 52' 2''; la différence trouvée directement est de 13° 41' 42'', c'est-à-dire plus grande de 49' 40''.

Cette différence répond à l'*excès sphérique* du triangle Keswick-Ajaccio-Prague. En effet, le côté Keswick-Prague a environ 1,259 kilomètres (315 lieues), et le côté Keswick-Ajaccio a approximativement 1,630 kilomètres (407 lieues); l'angle compris entre ces deux côtés est d'environ 38° 20'. Ces données approximatives introduites dans la formule de Legendre donnent pour l'*excès*

sphérique du triangle 53' 55", c'est-à-dire 4' 15" de plus que nous n'avions trouvé directement, différence qui provient sans doute en partie de l'imperfection des mesures prises simplement sur la carte et nécessairement aussi de ce que la formule de l'excès sphérique n'est plus complètement exacte pour un aussi grand triangle.

On voit qu'en passant par Ajaccio, pour comparer Keswick à Prague, on joindrait une erreur de plus de trois quarts de degré à celle qui résulterait déjà de la distance de Keswick à Prague; mais ce qu'il importe de remarquer, c'est que l'erreur est ici soustractive, tandis que, dans le cas du triangle Binger-Loch—Brocken—Bayreuth, l'erreur était additive. Il est facile de se rendre compte de cette circonstance d'après les positions respectives des points comparés entre eux, et cela permet de concevoir que, lorsqu'on a à opérer un certain nombre de comparaisons de ce genre et à en prendre le résultat moyen, il peut se faire que les erreurs résultant de la courbure de la terre soient en sens inverses les unes des autres et arrivent à se détruire en partie ou même complètement. C'est ce qui arrive de soi-même lorsque le point choisi pour *centre de réduction* est à peu près central par rapport au réseau formé par tous les points d'observation. Dans ce cas, au lieu d'avoir à craindre dans le résultat une erreur moyenne, par exemple d'un degré, résultant de l'effet négligé de la courbure de la terre, on peut compter que l'erreur de la moyenne se réduit à quelques minutes, et rentre par conséquent dans les limites que ne peut dépasser la précision des observations de direction.

Cette circonstance permet, comme nous le verrons bientôt, de prendre, par un procédé très simple et très expéditif, et cependant suffisamment exact, la moyenne d'un grand nombre d'observations de direction faites dans des contrées assez distantes les unes des autres, par exemple dans presque toute l'étendue de l'Europe occidentale.

Au surplus, comme je l'ai déjà dit, l'erreur commise relativement à chaque point, par l'effet de la courbure de la terre, a pour mesure l'*excès sphérique* d'un triangle rectangle qui a pour hypoténuse la distance de ce point au *centre de réduction*, et dont l'un des angles aigus est celui formé au point que l'on considère par la direction qu'on y a observée et par la ligne de jonction avec le *centre de réduction*. On peut calculer tous ces *excès sphériques* et voir de combien la somme de ceux qui sont additifs surpasse la somme de ceux qui sont soustractifs, puis tenir compte de la différence dans le calcul de la direction moyenne rapportée au *centre de réduction*. On verra aisément que pour arriver au

résultat avec toute l'approximation qu'on peut désirer, il suffit de calculer les *excès sphériques* de ceux des triangles rectangles indiqués, dont l'aire est la plus grande, et qu'on distingue aisément sur la carte.

En réduisant ces calculs au degré d'approximation strictement nécessaire, on peut les simplifier considérablement et les exécuter d'une manière très expéditive.

La formule donnée par Legendre (1) pour calculer l'excès sphérique ϵ des trois angles d'un triangle dont deux côtés, b et c , forment entre eux un angle A , se réduit, lorsqu'on veut obtenir la valeur de ϵ en secondes sexagésimales à

$$\epsilon = \frac{b c \sin A \, 1,296,000 \, \pi}{4 (20,000,000)^2} = \frac{b c \sin A \, 81 \, \pi}{100,000,000,000}$$

Si le triangle sphérique auquel on doit appliquer cette formule est rectangle, que b soit son hypoténuse, c l'un des côtés de l'angle droit, et A l'angle aigu compris entre ce côté et l'hypoténuse, on aura

$$\cos A = \frac{\text{tang } c}{\text{tang } b}$$

et pourvu que b soit de beaucoup inférieur à 90° , qu'il ne dépasse pas par exemple 15 à 20° , on pourra, sans erreur considérable, remplacer le rapport des tangentes par celui des arcs, et admettre que l'on a approximativement

$$\cos A = \frac{c}{b} \quad c = b \cos A$$

en substituant cette valeur de c dans celle de ϵ , en ayant égard à la relation $\sin 2 A = 2 \sin A \cos A$, et en supposant que b est exprimé, non plus en mètres, mais en kilomètres, on réduit l'expression de ϵ à la forme

$$\epsilon = \frac{b^2 \cdot \sin 2 A \cdot 81 \cdot \pi}{200,000}.$$

Cette formule donnera approximativement l'*excès sphérique* relatif à l'un des points d'observation, en y substituant, à la place de b ,

(1) Legendre, *Géométrie et trigonométrie*, 10^e édition, p. 426.

la distance de ce point au *centre de réduction*, exprimée en kilomètres; et pour A, l'angle formé, en ce point, par la direction qu'on y a observée et par la ligne menée au *centre de réduction*. On peut se contenter de mesurer cette distance et cet angle sur la carte. Le calcul est ensuite facile à exécuter; mais on peut encore, dans une foule de cas, se dispenser de le faire en en prenant à vue le résultat approximatif dans le tableau suivant, dont la construction et l'usage s'expliquent d'eux-mêmes, et qui rendra, pour ce nouvel objet, des services analogues à ceux que peut rendre le tableau de la page 881. Il a suffi d'y insérer les valeurs de A comprises entre 0 et 45°, attendu qu'à partir de $A = 45^\circ$, qui donne $2A = 90^\circ$, les valeurs de $\sin 2A$ rentrent dans celles qui se rapportent à des valeurs de A moindres que 45°.

Tableau des valeurs données par la formule $\varepsilon = \frac{b^2 \cdot \sin 2A \cdot 81 \cdot \pi}{200,000}$.

A =	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
kilom.									
b = 100	2"	4"	6"	8"	10"	11"	12"	15"	15"
200	9	17	25	35	59	44	48	50	51
300	20	59	57	1' 14	1' 28	1' 59	1' 48	1' 35	1' 55
400	35	1' 10	1' 42	2 11	2 56	2 56	5 11	5 20	5 24
500	55	1 49	2 59	5 24	4 4	4 55	4 59	5 15	5 18
600	1' 20	2 57	5 49	4 54	5 51	6 57	7 10	7 51	7 58
700	1 48	5 55	5 12	6 41	7 57	9 00	9 46	10 14	10 25
800	2 21	4 59	6 47	8 45	10 24	11 45	12 45	15 22	15 54
900	2 59	5 52	8 55	11 2	15 9	14 52	16 8	16 55	17 11
1000	5 41	7 15	10 56	15 58	16 17	18 22	19 56	20 55	21 12
1100	4 27	8 47	12 50	16 50	19 59	22 15	24 7	25 16	25 40
1200	5 18	10 27	15 16	19 58	25 25	26 27	28 42	50 4	50 52
1500	6 15	12 15	17 55	25 2	27 27	51 2	55 41	55 18	55 50
1400	7 15	14 15	20 47	26 45	51 50	55 59	59 5	40 55	41 54
1500	8 17	16 19	25 51	50 40	56 52	41 19	44 50	46 59	47 42
1600	9 26	18 54	27 9	54 54	41 55	47 1	51 1	55 28	54 17
1700	10 59	20 58	50 59	59 24	46 56	55 5	57 55	1° 0 21	1° 1 17
1800	11 56	25 50	54 21	44 10	52 57	59 50	1° 4 54	1 7 40	1 8 42
1900	15 18	26 11	58 17	49 12	58 58	1° 6 18	1 11 56	1 15 25	1 16 55
2000	14 44	29 1	42 25	54 51	1° 4 58	1 15 27	1 19 42	1 25 52	1 24 49

Il est aisé de constater le degré d'approximation des valeurs de ε que renferme ce tableau. A et C étant les deux angles aigus du triangle rectangle, l'*excès sphérique* de ses trois angles sera $\varepsilon = A + C - 90^\circ$. A étant mesuré sur la carte de même que le côté b, on déterminera C par la formule $\cot. C = \cos b \tan A$; ici b doit être exprimé, non plus en kilomètres, mais en degrés, minutes et secondes. Si k est sa mesure en kilomètres prises sur la carte, on aura $b : k :: 90^\circ : 10,000$; $b = \frac{k}{10,000} 90^\circ$. Cette première ré-

duction opérée, on n'aura que deux logarithmes à chercher pour trouver celui de *cos. C*.

Supposons, par exemple, $A = 40^\circ$, $k = 1,000$, nous aurons d'abord $b = \frac{1}{10} 90^\circ = 9^\circ$, et nous trouverons,

$$\cot. C = \cos 9^\circ \tan 40^\circ;$$

$$C = 50^\circ 20' 57''$$

d'où $\varepsilon = 40^\circ + 50^\circ 20' 57'' - 90^\circ = 20' 57''$.

Supposons encore $A = 45^\circ$, $k = 2000$, nous aurons $b = \frac{2}{10} 90^\circ = 18^\circ$, et nous trouverons $C = 46^\circ 26' 12''$,

d'où $\varepsilon = 45^\circ + 46^\circ 26' 12'' - 90^\circ = 1^\circ 26' 12''$.

Le tableau donne approximativement les valeurs correspondantes de ε , qui sont $\varepsilon = 20' 53''$ et $\varepsilon = 1^\circ 24' 49''$; ces valeurs approximatives sont plus petites que les valeurs exactes : la première de $4''$, et la seconde de $1' 23''$. Mais les différences, surtout la première, sont très petites. On voit par là que les valeurs de ε , données par la formule approximative et celles données par un calcul rigoureux, ne diffèrent que de quantités qui, pour notre objet, sont à peu près insignifiantes. Ces valeurs ne diffèrent d'une manière un peu notable que vers la fin du tableau où la seconde des deux valeurs de ε , que nous venons de considérer, occupe la dernière place; mais l'erreur est encore si peu considérable, même pour cette dernière, qu'il ne peut y avoir aucun inconvénient réel à employer les valeurs approximatives à la place des valeurs rigoureuses.

Les valeurs rigoureuses sont, au reste, si faciles à calculer, qu'on pourra aisément les déterminer dans tous les cas où on en aura besoin, soit dans l'étendue embrassée par le tableau, soit au-delà de ses limites. Peut-être, en voyant combien ces valeurs rigoureuses sont faciles à obtenir, s'étonnera-t-on que je me sois borné à consigner dans le tableau les valeurs approximatives; mais on aura le secret de cette préférence en remarquant que la forme de la formule approximative m'a permis de remplir les 180 cases du tableau sans effectuer complètement le calcul pour chacune d'elles, facilité que la formule rigoureuse ne me donnait pas. Avec cette dernière il m'aurait fallu répéter 180 fois le calcul logarithmique.

La progression que suivent les deux différences que je viens de citer montre que la formule approximative, qui donne l'*excès sphérique*, presque rigoureusement exacte pour les triangles dont le plus grand côté n'a pas plus de 1000 kilomètres, l'est déjà beaucoup moins pour ceux dont le plus grand côté en a 2000, et deviendrait rapidement de plus en plus inexacte si on l'appliquait à des triangles plus grands encore.

En faisant usage du tableau pour tous les cas auxquels il pourra s'appliquer, et en recourant, pour le petit nombre de ceux auxquels il ne s'appliquera pas, au calcul complet du triangle sphérique rectangle, on obtiendra aisément pour le *centre de réduction* une *direction moyenne* dont on pourra toujours répondre à quelques minutes près.

J'en donnerai ci-après des exemples, en m'occupant successivement des divers systèmes de montagnes auxquels cette note est consacrée.

Parmi les systèmes de montagnes dont je me suis occupé jusqu'à présent de fixer l'âge relatif et la direction, le plus ancien était le *système du Westmoreland et du Hundsrück*. Ainsi que je l'ai annoncé en 1833, dans l'extrait de mes recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe, inséré dans le *Manuel géologique*, l'idée première de m'occuper de ce système m'a été suggérée par les recherches dont M. le professeur Sedgwick a communiqué les résultats, en 1831, à la Société géologique de Londres. « Ce » savant géologue, qui s'était occupé (dès lors) depuis près de dix » ans de l'exploration des montagnes du district des lacs du » Westmoreland, a fait voir que la moyenne direction des diffé- » rents systèmes de roches schisteuses y court du N.-E. un peu E. » au S.-O. un peu O. Cette manière de se diriger fait que, l'un » après l'autre, ils viennent se perdre sous la zone carbonifère qui » couvre les tranches de leurs couches; d'où il résulte qu'ils sont » nécessairement en stratification discordante avec cette zone. » L'auteur confirme cette induction en donnant des coupes détail- » lées; et de tout l'ensemble des faits observés il conclut que les » couches des montagnes centrales du district des lacs ont été pla- » cées dans leur situation actuelle avant ou pendant la période du » dépôt du vieux grès rouge, par un mouvement qui n'a pas été » lent et prolongé, mais soudain (1). »

(1) Voyez *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe*, etc.... *Manuel géologique*, par M. de La Bèche, traduction française par M. Brochant de Villiers, p. 624; et *Traité de*

A cette époque, les belles recherches de M. Murchison sur la région silurienne n'étaient pas encore ou étaient à peine commencées, le nom même de *terrain silurien* n'avait pas encore été prononcé, et, frappé de l'irrégularité des couches de transition moderne que j'avais visitées à Dudley et à Tortworth, couches qui n'avaient encore été rapprochées d'aucunes de celles du Westmoreland, je disais que des circonstances autres que celles mentionnées par M. le professeur Sedgwick me faisaient regarder moi-même comme bien probable que ce soulèvement « avait même eu lieu » avant le dépôt de la partie la plus récente des couches que les » Anglais nomment terrains de transition, c'est-à-dire avant le » dépôt des calcaires à Trilobites de Dudley et de Tortworth (1). »

« M. le professeur Sedgwick a aussi montré, continuais-je, » que, si on tire des lignes suivant les directions principales des » chaînes suivantes, savoir : la chaîne méridionale de l'Écosse, » depuis Saint-Abbs-Head jusqu'au Mull de Galloway, la chaîne » de grauwacke de l'île de Man, les crêtes schisteuses de l'île » d'Anglesea, les principales chaînes de grauwacke du pays de » Galles et la chaîne de Cornouailles, ces lignes seront presque » parallèles l'une à l'autre et à la direction mentionnée ci-dessus, » comme dominant dans le district des lacs du Westmoreland.

» L'élévation de toutes ces chaînes qui influent si fortement sur le » caractère physique du sol de la Grande-Bretagne, disais-je encore, a été rapportée par M. le professeur Sedgwick à une même » époque, et leur parallélisme n'a pas été regardé par lui comme » accidentel, mais comme offrant une confirmation de ce principe » général, déjà déduit de l'examen d'un certain nombre de montagnes, que les chaînes élevées à la même époque présentent un » parallélisme général dans la direction des couches qui les composent, et par suite dans la direction des crêtes que ces couches » constituent (2). »

Passant ensuite de la Grande-Bretagne sur le continent de l'Europe, je disais que « la surface de l'Europe continentale présente » plusieurs contrées montueuses, où la direction dominante des » couches les plus anciennes et les plus tourmentées court aussi, » comme M. de Humboldt l'a remarqué depuis longtemps, dans » une direction peu éloignée du N.-E. ou de l'E.-N.-E. (*Hora* 3-4,

géognosie de M. Daubuisson, continué par M. Amédée Burat, t. III, p. 297.

(1) *Ibid.*, p. 624 et 298.

(2) *Ibid.*, p. 625 et 299.

» *de la boussole des Mineurs*). Telle est, par exemple, la direction
 » des couches de schiste et de grauwacke des montagnes de l'Eiffel,
 » du Hundsrück et du pays de Nassau, au pied desquelles se sont
 » probablement déposés les terrains carbonifères de la Belgique et
 » de Sarrebrück (ces derniers reposent, à Nonnweiler, route de
 » Birkenfeld à Trèves (1), sur la tranche des couches de schiste
 » et de quartzite). Telle est aussi celle des couches schisteuses
 » du Hartz; telle est encore celle des couches de schiste, de grau-
 » wacke et de calcaire de transition des parties septentrionales et
 » centrales des Vosges, sur la tranche desquelles s'étendent plu-
 » sieurs petits bassins houillers; telle est même à peu près celle des
 » couches de transition, calcaires et schisteuses, d'une date pro-
 » bablement fort ancienne, qui constituent en grande partie le
 » groupe de la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, et
 » qui se retrouvent dans les Pyrénées, où, malgré des boulever-
 » sements plus récents, elles présentent encore, et souvent d'une
 » manière très marquée, l'empreinte de cette direction primi-
 » tive.

» Enfin, cette direction *hora* 3—4 est aussi la direction domi-
 » nante et pour ainsi dire fondamentale des feuillets plus ou moins
 » prononcés des gneiss, micaschistes, schistes argileux et des
 » roches quartzieuses et calcaires de beaucoup de montagnes appe-
 » lées souvent primitives, telles que celles de la Corse, des Maures
 » (entre Toulon et Antibes), du centre de la France, d'une partie
 » de la Bretagne, de l'Erzgebirge, de Grampians....

» Le parallélisme de cette direction et de celle observée par
 » M. le professeur Sedgwick, en Angleterre, joint à la circon-
 » stance que cette loi d'une forte inclinaison dans une direction à
 » peu près constante, à laquelle obéissent presque universellement
 » les couches et les feuillets des terrains les plus anciens de l'Eu-
 » rope, ne comprend pas les formations d'une origine postérieure,
 » conduit naturellement à supposer que l'inclinaison de toutes les
 » couches de sédiment qui sont comprises dans le domaine de
 » cette loi est due à une même catastrophe *qui, jusqu'ici, est la*
 » *plus ancienne de celles dont les traces ont pu être clairement re-*
 » *connues. Il ne faut cependant pas désespérer, ajoutais-je, de voir*
 » *des recherches ultérieures mettre les lignes de démarcation, que*
 » *l'observation indique déjà entre les différentes assises des anciens*
 » *terrains de transition, en rapport avec des soulèvements plus*

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 698.

» anciens et encore plus effacés que celui dont nous venons de
» parler (1). »

Ce sont ces espérances, de vieille date, que je vais essayer de réaliser ; mais auparavant je dois compléter, autant que l'état des observations le permet aujourd'hui, l'étude du système dont je viens de retracer les traits fondamentaux et d'abord rappeler pourquoi je l'ai nommé *système du Westmoreland et du Hundsrück*. Les noms qui rappellent un type naturel bien déterminé, « tels » que ceux de calcaire du Jura, d'argile de Londres, de calcaire » grossier parisien, ont, en géologie, des avantages tellement mar- » qués, qu'il était à désirer qu'on pût en employer du même genre » pour les divers systèmes d'inégalités d'âges différents qui sillonnent la surface de la terre. Il n'était pas sans embarras de » choisir, pour indiquer une réunion de rides qui traversent une » grande partie de l'Europe, qui probablement s'y sont produites » au milieu d'accidents préexistants, et qui, depuis, ont été sou- » mises à un grand nombre de dislocations, un nom simple et » facile à retenir, qui se rattachât à des accidents naturels du sol » et qui ne fût pas exposé, à cause de sa brièveté même, à donner » lieu à des équivoques et à des disputes de mots. Il m'a semblé » qu'on pourrait adopter pour le système dont nous parlons le » nom de *système du Westmoreland et du Hundsrück*, en convenant » de prendre la partie pour le tout, et en rattachant tout l'en- » semble à deux districts montagneux, où les accidents très an- » ciens qui nous occupent sont encore au nombre des traits les » plus proéminents. On pourrait tout aussi bien l'appeler système » du Bigorre, du Canigou, du Pilas, de l'Erzgebirge, du Harz, » puisque les couches schisteuses anciennes, dont ces montagnes » sont en grande partie composées, paraissent avoir contracté elles- » mêmes, à l'époque ancienne qui nous occupe, leurs inflexions » primordiales. Mais comme ces mêmes montagnes paraissent de- » voir une grande partie de leur relief actuel à des mouvements » beaucoup plus récents, j'ai craint qu'en les faisant figurer dans » la désignation d'un système d'accidents bien antérieur à la con- » figuration définitive qu'elles nous présentent, on n'introduisît » trop de chances de confusion (2). »

Depuis que ces pages ont été publiées, la réunion en un même

(1) *Manuel géologique*, p. 625 et 626 — *Traité de géognosie*, t. III, p. 301.

(2) *Ibid.*, p. 626 et 301-302.

faisceau de tous les accidents orographiques et stratigraphiques, dont je viens de rappeler les noms, est devenue de plus en plus indispensable; quelques autres même ont dû y être réunis, quelques accidents partiels et de peu d'étendue devront seuls être détachés des masses avec lesquelles ils étaient confondus.

J'ai cru pendant longtemps que les couches schisteuses les plus anciennes de l'Ardenne, du Hunsrück, du Hartz, etc., correspondaient, par leur âge, à celles du *Longmynd*, sur lesquelles les couches siluriennes inférieures reposent en stratification discordante. C'est dans cette pensée qu'en 1835 je proposai à M. Murchison, ainsi qu'il a bien voulu le rappeler dernièrement (1), de donner au groupe de roches schisteuses anciennes qui forme la base du *Longmynd* le nom de *système hercynien*, nom auquel M. le professeur Sedgwick a préféré celui de *système cambrien*. Mes illustres amis ont conservé eux-mêmes, pendant longtemps, quelque chose de cette ancienne opinion; car sur la belle carte des terrains schisteux des bords du Rhin, qu'ils ont publiée en 1840, ils ont indiqué un noyau cambrien dans l'Ardenne, près de Bastogne et de Houffalize, et un autre sur les bords du Rhin, près d'Oberwesel et de St-Goar.

L'incertitude où nous étions sur l'existence réelle de ces noyaux cambriens, l'impossibilité de les limiter avec précision, et d'autres difficultés encore, nous ont déterminés, M. Dufrénoy et moi, à figurer une grande partie de ces contrées schisteuses, sur la carte géologique de la France publiée en 1841, comme composées de *terrains de transition indéterminés*, désignés simplement par la lettre *i*, et j'ajoutais dans l'explication de la même carte :
« L'expression terrain ardoisier laisse dans une indétermination
» dont il ne me paraît pas encore prudent de sortir aujourd'hui, et
» l'époque du dépôt des schistes et des quartzites de l'Ardenne, et
» l'époque de la conversion en ardoises d'une partie des premiers...
» Les schistes verdâtres qui, près de Bingen, sur le Rhin, alternent avec des quartzites, m'ont paru présenter une ressemblance frappante avec ceux qui alternent de même avec des quartzites près de Nouzon, sur les bords de la Meuse. De part et d'autre les quartzites sont semblables, et ils rappellent en tout point

(1) Murchison, Mémoire lu à la Société géologique de Londres le 6 janvier 1847. — *Quarterly journal of the geological Society*, t. III, p. 167.

» quelques uns de ceux de la Bretagne. Le calcaire qui se trouve à
 » Stromberg, un peu à l'E. de Bingen, constitue une analogie de
 » plus avec le terrain des bords de la Meuse et de la Semois (1). De
 » petits bancs calcaires, remplis de crinoïdes et contenant aussi des
 » spirifers et d'autres fossiles, sont intercalés dans les schistes ardoi-
 » siers, depuis Moncy-Notre-Dame, près de Mézières, jusqu'à
 » Bouillon » (2), suivant une ligne dirigée de l'O.-S.-O. à l'E.-N.-E.

Tous les pas que la science a faits depuis lors ont tendu à rajeunir les terrains dont il s'agit, par conséquent à les éloigner du terrain du Longmynd et à les rapprocher du terrain dévonien. Mais je rappellerai d'abord les analogies qui, sans en fixer encore l'âge, me portaient déjà, il y a six ans, à reconnaître un grand ensemble de dépôts contemporains dans ces terrains de transition indéterminés de l'est de la France, qui tous sont affectés de la direction *hora* 3-4.

Je disais dans l'explication de la carte géologique qu'à l'angle septentrional des Vosges, « au N.-O. de Schirmeck, le terrain se
 » compose de couches parallèles dirigées de l'O. 30° S. à l'E. 30° N.
 » et plongeant d'environ 60° au S. 30° E., de schistes argileux à
 » surface luisante, de grauwacke et de calcaire gris. On trouve,
 » dans les calcaires et dans les schistes, des Entroques, des Poly-
 » piers et des coquilles univalves et bivalves, malheureusement
 » peu distinctes (3). » Et j'ajoutais plus loin : « Ce terrain
 » schisteux, avec grauwackes et calcaires subordonnés, me paraît
 » avoir une grande analogie avec celui des parties de l'Ardenne
 » voisines de Mézières et de Bouillon, et rien n'empêcherait qu'on
 » ne supposât que ce sont deux affleurements d'un même système,
 » qui, dans tout l'intervalle entre Mézières et Framont, demeure
 » couvert par des dépôts plus modernes (4). »

Je disais encore que « dans la partie méridionale des Vosges et
 » dans les parties adjacentes des collines de la Haute-Saône, on
 » trouve, au-dessous des porphyres bruns, un système de roches
 » schisteuses dont la direction court généralement entre le N.-E.
 » et l'E.-N.-E. Ces roches schisteuses renferment des couches de
 » grauwacke, des débris végétaux et quelques amas de calcaire
 » fossilifère. C'est la même réunion d'éléments que dans le terrain

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. 4^{er}, p. 265.

(2) *Ibid.*, t. 1^{er}, p. 258 (1844).

(3) *Ibid.*, t. I, p. 322.

(4) *Ibid.*, chap. V, t. 1^{er}, p. 323.

» stratifié des environs de Schirmeck , ou dans la partie de l'Ar-
» denne qui avoisine Mézières et Bouillon. Ces schistes rappellent
» également ceux qu'on observe dans les montagnes entre la Saône
» et la Loire , et dans la partie méridionale du Morvan , entre
» Autun et Decise , et qui contiennent de même des amas stratifiés
» de calcaire avec *Encrines* et quelques autres fossiles en petit
» nombre. Tous ces terrains schisteux font probablement partie
» d'un même système que les roches éruptives ont disloqué (1).

» Dans l'espace compris entre les granites du Champ-du-Feu et
» les montagnes granitiques de Sainte-Marie aux Mines , la direc-
» tion moyenne des schistes se rapproche, à la vérité, davantage de
» la ligne E.-O. ; je concluais cependant que l'étoffe fondamentale
» sur laquelle la succession des phénomènes géologiques a, en quel-
» que sorte, brodé le relief actuel... des Vosges , était un terrain
» pourvu , dans beaucoup de parties , d'une stratification assez ré-
» gulièrement dirigée de l'O. 30 à 40° S. à l'E. 30 à 40° N. (2),
(moyenne E. 35° N.)

J'ajoutais que « le sol des Vosges et de la Forêt-Noire avait été
» compris dans un ridement très général qui avait affecté tous les
» terrains anciens d'une grande partie de l'Europe et leur avait
» imprimé cette direction habituelle vers l'E. 20 à 40° N., que j'ai
» signalée dans les gneiss , les schistes et autres roches anciennes,
» dont les bandes juxtaposées constituent le sol fondamental des
» Vosges (3). »

Dans le chapitre suivant du même volume, j'ai signalé les ana-
logies qui me paraissent exister entre les roches fondamentales des
montagnes des Maures et de l'Estérel, qui bordent la Méditer-
ranée entre Toulon et Antibes, et celles des Vosges. « Les
» roches cristallines stratifiées des montagnes des Maures for-
» ment, disais-je , un système analogue à celui que nous avons
» déjà signalé dans les Vosges (p. 309). Elles semblent avoir pour
» étoffe première un grand dépôt de schistes et de *grauwackes* à
» grains fins , contenant des assises calcaires et des dépôts char-
» boneux.

» La cristallinité paraît s'y être développée après coup , par
» voie de métamorphisme , mais d'une manière inégale, suivant

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er},
p. 326.

(2) *Ibid.*, t. I^{er}, p. 301.

(3) *Ibid.*, t. I^{er}, p. 447.

» les localités. C'est aux environs de Toulon et d'Hyères que la
» cristallinité a fait le moins de progrès et que les schistes sont le
» moins éloignés de leur état primitif (1). »

« Dans la presqu'île de Giens, les couches schisteuses sont
» verticales et dirigées de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O. (2) ;

» Ce que les schistes de la presqu'île de Giens ont peut-être de
» plus remarquable, c'est la présence des couches calcaires qui y
» sont intercalées. Elles se trouvent près de la pointe occidentale,
» où les roches du système schisteux qui nous occupe ont quelque
» chose de moins cristallin, de plus arénacé, et une teinte plus
» grisâtre que dans les autres parties, et se réduisent même, en
» quelques endroits, à des quartzites schistoïdes blanchâtres ou
» gris (3).

» Les assises calcaires et les quartzites intercalés dans les
» schistes de la presqu'île de Giens rappellent naturellement les
» schistes qui contiennent simultanément des couches subordon-
» nées de ces deux natures, dans les Ardennes et dans les Vosges.
» (Voyez ci-dessus, chap. IV, p. 254, et chap. V, p. 321 (4).)

» Les schistes d'Hyères ont de grands rapports avec ceux
» des Grampians, comme le montrent les descriptions de Saussure
» comparées à celles de Playfair (5) ; quelques unes de leurs va-
» riétés ressemblent également au killas du Cornouailles (6).

» Le principal groupe des directions observées dans les monta-
» gnes des Maures se dirige moyennement au N. 44° E., direction
» peu éloignée de celle que nous avons déjà signalée dans les
» Vosges (chap. V, p. 311, 318, 324 et 417), et résultant *du*
» *ridement général qui, à une époque géologique très ancienne, a*
» *affecté les dépôts stratifiés d'une grande partie de l'Europe* (7). »

Cette direction moyenne est en effet comprise dans le champ
trop large peut-être de la désignation *hora* 3-4, cependant elle
s'éloigne plus de la ligne E.-O. que dans les autres localités que
je viens de citer ; mais nous verrons bientôt qu'on peut essayer de
subdiviser le groupe de directions qu'elle représente.

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er},
p. 447.

(2) *Ibid.*, p. 448.

(3) *Ibid.*, p. 449.

(4) *Ibid.*, p. 450.

(5) *Ibid.*, p. 453.

(6) *Ibid.*, p. 454.

(7) *Ibid.*, p. 467.

La direction de la plupart des anciens terrains stratifiés de l'Europe se reproduit plus exactement encore dans les îles de Corse et de Sardaigne. Les montagnes granitiques qui composent la partie occidentale de la Corse forment une suite régulière de rides parallèles, dirigées à peu près de l'O.-S.-O. à l'E.-N.-E., et embrassant dans leurs interstices les échancrures symétriques des golfes de Porto, de Sagone, d'Ajaccio, de Valinco et de Ventilegne (1). D'après M. de la Marmora, les crêtes qui forment, en Sardaigne, les terrains de transition affectent une direction semblable.

Cette même direction reparaît avec de légères variations dans les terrains de transition de la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, et dans ceux d'une partie des Pyrénées.

Le massif de la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, depuis Sorrèze et le bassin de Saint-Féréol jusque vers Saint-Gervais et le pont de Camarès, est formé de masses ellipsoïdales de granites séparées par des bandes de roches schisteuses et calcaires, dont l'une présente les belles carrières de marbre de Caunes, entre Carcassonne et Saint-Pons.

Ces diverses roches ont une tendance prononcée à former des bandes dirigées vers l'E. 30° à 40° N.; celles qui sont stratifiées se dirigent vers l'E. 25° , 30° , 35° , 40° et 45° N. La moyenne de toutes ces directions, que j'ai relevées en grand nombre en 1832, m'a paru être E. 34° N. La même direction s'observe aussi dans beaucoup de points des Cévennes, entre Meyrueis et Anduze. J'avais cru reconnaître encore la même direction fondamentale dans les roches schisteuses et calcaires souvent pénétrées par des granites qui forment la base des Pyrénées. M. Durocher, qui depuis lors a fait de nombreuses observations sur les terrains anciens des Pyrénées, a publié une nombreuse série d'observations de direction (2) dont la moyenne s'écarterait un peu moins de la ligne E.-O.; mais peut-être ces directions devraient-elles être divisées en deux groupes.

Les fossiles renfermés en différents points dans les roches de transition que je viens de passer en revue n'ont pu servir, pendant longtemps, qu'à montrer qu'elles devaient être fort anciennes, sans qu'il fût possible de s'en servir pour les rapporter à un étage déterminé. Dans cette incertitude, nous ne pouvions pas, M. Du-

(1) J. Reynaud, *Mémoire sur la constitution géologique de la Corse. Mémoires de la Société géologique de France*, t. I, p. 3.

(2) Durocher, *Essai sur la classification du terrain de transition des Pyrénées* (*Ann. des mines*, 4^e série, t. VI, p. 24 et suivantes. 1844).

frénoy et moi, les figurer sur la carte géologique de la France autrement que comme *terrains de transition indéterminés*, et elles y sont en effet coloriées en brun clair et marquées de la lettre *i*, qui est consacrée à ces terrains.

Nous sommes redevables à M. de Buch de la cessation de cet état d'incertitude.

M. de Buch, qui nous honore aujourd'hui de sa présence, a fait, dans ces dernières années, plusieurs voyages en France. L'année dernière, il a parcouru une grande partie des Pyrénées. A diverses époques, il a bien voulu examiner les collections de fossiles des localités sus-mentionnées que nous avons réunies à l'École des mines. Il a vu aussi ceux qui se trouvent dans les musées de Strasbourg et de Lyon. Tout récemment encore, il a examiné sous ce point de vue les collections recueillies dans les Pyrénées et dans les carrières de Caunes, par M. Dufrénoy et par moi, et il a reconnu, à l'ensemble des fossiles dont il s'agit, un caractère dévonien.

Il rapporte spécialement au système dévonien les fossiles des terrains de transition des Pyrénées orientales, de la vallée de Campan, des carrières de Caunes (montagne Noire) et de celles de Schirmeck dans les Vosges (1).

Toutes ces localités fossilifères, de même que celles du Hartz et des environs de Bayreuth, sont donc *dévonien*nes, mais elles me paraissent l'être de la même manière que les localités du Hundsrück, du pays de Nassau, de l'Eifel et de la Westphalie, que MM. Sedgwick et Murchison avaient coloriées comme *siluriennes* dans leur belle carte publiée en 1840. Dans leur mémorable travail sur les fossiles

(1) Depuis le moment où j'ai fait cette communication à la Société géologique, M. de Buch, en retournant à Berlin, a visité les environs de Schirmeck et de Framont avec MM. de Billy et Daubrée; et dans une lettre subséquente, dont je suis heureux de pouvoir consigner ici un extrait, il a confirmé son opinion de l'âge dévonien des calcaires de transition des environs de Schirmeck et de Framont.

Berlin, le 19 juillet 1847.

..... « Le calcaire de Russ, de Schirmeck et de Framont est un » banc de corail, *Calamopora polymorpha*, *Spongites*, *Cyathophil-* » *lum*, ni silurien, ni carbonifère, donc *dévonien*; c'est Gerolstein et » plus encore le Mühlthal du Hartz. Vainement on cherche des Spiri- » fers, des Térébratules, mais on trouve entre Schirmeck et Framont » l'*Ortoceratites regularis* assez grand; il est encore *dévonien* à » Elhersreuth près de Bayreuth. »

des terrains anciens des provinces Rhénanes, imprimé dans les *Transactions géologiques*, à la suite du mémoire de MM. Sedgwick et Murchison (1), MM. le vicomte d'Archiac et de Verneuil ont placé dans le terrain *silurien* les localités fossilifères d'Abentheur (Hundsrück), de Wissembach, Ems, Kemmenau, Niederosbach, Braubach, Haüsling, etc. (duché de Nassau), de Prüm et de Daun (Eifel), de Solingen, Liegen, Unkel, Lauderskron, Lindlar, etc. (Westphalie), et ils les ont par conséquent distinguées des localités dévoniennes des mêmes contrées. Aujourd'hui il serait question de considérer toutes ces localités comme *dévoniennes*, et je suis très porté à croire que c'est particulièrement de ces localités, regardées primitivement comme distinctes du terrain *dévonien* proprement dit, que doivent être rapprochées les localités fossilifères de la France dont je viens de parler.

Les terrains schisteux du Fichtelgebirge et du Frankenwald, dans lesquels sont encastrés sous forme lenticulaire les calcaires fossilifères d'Elbersreuth, près de Bayreuth, et des environs de Hof, appartiennent essentiellement au système de couches anciennes caractérisées par la direction *hora* 3-4. C'est là que M. de Humboldt, en 1792, a été frappé pour la première fois de la constance de cette direction.

Il en est de même des terrains schisteux de l'Erzgebirge qui sont le prolongement de ceux de Fichtelgebirge et du Frankenwald, et de la plus grande partie de ceux du Hartz.

Enfin, cette direction se dessine encore de la manière la plus nette dans les couches fossilifères des environs de Prague. Le beau travail que M. Joachim Barrande a commencé à publier sur ces derniers dépôts ne permet pas de douter qu'ils n'appartiennent au terrain *silurien*; mais ils paraissent cependant ne pas être dénués de quelques rapports avec le terrain fossilifère d'Elbersreuth, car on lit les lignes suivantes dans la savante notice de M. Barrande: « Il » ne sera pas hors de propos de faire observer en passant qu'un assez » grand nombre de nos bivalves du genre *Cardium*, etc., paraissent se rapprocher de celles que le comte Munster a décrites » comme appartenant au calcaire d'Elbersreuth (2). »

Les lumières nouvelles que ces divers rapprochements jettent si

(1) *Transactions of the geological Society of London : new series*, t. VI.

(2) Joachim Barrande, *Notice préliminaire sur le système silurien et les Trilobites de Bohême* (1846), p. 45.

heureusement sur les terrains de transition que nous nous sommes bornés à colorier, M. Dufrénoy et moi, sur la carte géologique de la France comme terrains de transition indéterminés, ne permettraient pas encore de les colorier d'une manière bien certaine. Il reste toujours évident que le terrain ardoisier de l'Ardenne et du Hundsrück constitue un système différent du terrain anthraxifère de M. d'Omalius d'Halloy. Les trois assises inférieures de ce terrain que M. d'Omalius a désignées sous les noms de poudingue de Burnot, de calcaire de Givet et de Psammites du Condros, me paraissent toujours former un système distinct du terrain ardoisier, sur lequel le poudingue de Burnot repose près de Givet et de Fumay, et à Pepinster, près de Spa, en stratification discordante. A mes yeux, ces trois assises constituent le *terrain dévonien proprement dit*, et les couches nommées aussi *dévoniennes* qui font partie du terrain ardoisier appartiennent stratigraphiquement à un système plus ancien. Le terrain de transition longtemps indéterminé, qui comprend le terrain ardoisier de l'Ardenne et du Hundsrück, et ceux que j'ai cherché à y rattacher dans les Vosges, dans les montagnes des Maures et de l'Estérel, etc., se compose de ces couches *dévoniennes anciennes*, de couches *siluriennes* et peut-être de couches plus anciennes encore. Ce terrain est la matière constituante essentielle du Hundsrück et de toutes les rides dirigées *hora 3-4*, que j'ai désignées sous le nom de *système du Westmoreland et du Hundsrück*. Il devient évident, d'après cela, que ce système de rides est postérieur au *terrain silurien* et même à une partie des couches qu'on désigne aujourd'hui comme *dévoniennes*; mais il demeure également évident qu'il est antérieur, d'une part, au *terrain dévonien* de la partie S.-E. des Vosges (1), et de l'autre, au poudingue de Burnot qui repose en stratification discordante sur les couches redressées du terrain ardoisier.

Le système du poudingue de Burnot, du calcaire de Givet et des psammites de Condros, a été regardé pendant quelque temps comme représentant le *terrain silurien*. A la même époque, le terrain ardoisier a été considéré comme représentant le *terrain cambrien*. Cela expliquera naturellement comment j'ai été conduit à regarder le système de rides du Hundsrück comme se rapportant à une époque intermédiaire entre le terrain *cambrien* et le terrain *silurien*. L'indécision où on a été ensuite sur l'âge d'une partie des

(1) Voyez *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 365.

couches dont les rapports stratigraphiques déterminent l'âge relatif de ce système de rides, a dû me faire prévoir depuis longtemps un changement dans l'énoncé de cette détermination et me rendre en même temps très circonspect à proposer un nouvel énoncé; mais en envahissant ainsi le terrain ardoisier et en général tout notre terrain de transition indéterminé, qui est la matière constituante essentielle des rides du système du Hundsrück, les dénominations de couches *siluriennes* et de couches *dévonniennes* ont conquis le droit de préséance, par rang d'âge, sur le système du Hundsrück. Je ne puis qu'applaudir à une pareille conquête et m'empresser de la proclamer au moment où les derniers nuages qui me la faisaient considérer comme douteuse viennent de disparaître de mon esprit. Si tous les doutes n'ont pas encore disparu, relativement à la classification de ces couches, il est cependant devenu évident que le système du Hundsrück est postérieur aux couches *siluriennes* et aux couches *dévonniennes anciennes*; mais rien n'est changé quant aux motifs qui le faisaient considérer comme antérieur au poudingue de Burnot, au calcaire de Givet et aux psammites de Condros, qui me paraissent représenter le *terrain dévonien proprement dit*, en ce sens qu'elles sont l'équivalent chronologique exact du *vieux grès rouge* des géologues anglais.

Un coup d'œil sur la structure stratigraphique de la Grande-Bretagne va confirmer ce premier aperçu.

Dès l'origine, je dois m'empresser de le reconnaître, M. le professeur Sedgwick a indiqué l'âge relatif du système de rides auquel il a rapporté les montagnes du Westmoreland, les Lead Hills, les Grampians, en des termes auxquels l'énoncé que je propose aujourd'hui ne fait que donner peut-être une plus grande précision. Dans le mémoire qu'il a communiqué à la Société géologique, en 1831, M. le professeur Sedgwick disait que les chaînes dont il s'agit avaient été soulevées avant le complet développement du vieux grès rouge (1). Il est vrai que ce premier énoncé ne s'opposait pas à ce qu'on supposât le soulèvement de ces mêmes chaînes plus ancien que le vieux grès rouge, mais les dernières publications du savant professeur de Cambridge ont levé à cet égard toutes les incertitudes.

Dans un de ses derniers mémoires, lu à la Société géologique

(1) All elevated nearly of the same period, before the complete development of the old-red-sandstone. (*Proceedings of the geological Society of London*, vol. I^{er}, p. 244 et 285.)

de Londres, le 12 mars 1845, M. le professeur Sedgwick dit que dans la vallée de la Lune, les roches de Ludlow supérieures sont recouvertes par une masse épaisse de *tilestone*, dont les couches les plus élevées sont remplies de fossiles appartenant tous aux espèces du terrain silurien supérieur. Il pense qu'il n'existe pas de véritable passage entre ce *tilestone* et le vieux grès rouge qui le recouvre, et cette opinion est basée sur les trois faits suivants : 1° C'est une règle générale que les conglomérats du vieux grès sont en discordance complète avec les schistes supérieurs du Westmoreland : on peut en citer un grand nombre d'exemples incontestables. 2° Les couches du conglomérat du vieux grès rouge, sur les bords de la Lune, ne sont pas exactement parallèles aux couches du *tilestone*. 3° Ces conglomérats contiennent de nombreux fragments de *tilestone* qui doivent avoir été solidifiés avant la formation des conglomérats (1).

M. le professeur Sedgwick a encore confirmé ces conclusions dans un nouveau mémoire lu à la Société géologique de Londres, le 7 janvier 1846, en disant qu'il existe une ressemblance générale entre les espèces que renferme le terrain silurien supérieur dans la région silurienne et dans le Westmoreland. Considéré comme un grand groupe, le terrain silurien supérieur peut, d'après le savant professeur, être regardé comme presque identique dans les deux contrées, et il se termine, dans l'une et dans l'autre, par des couches appartenant à un même type minéralogique, c'est-à-dire formées de dalles rouges ou *tilestones* (2).

Enfin, dans son dernier mémoire lu à la Société géologique, le 16 décembre 1846, M. le professeur Sedgwick regarde le *coniston limestone* du Westmoreland comme l'équivalent du *caradoc sandstone*, et les couches les plus élevées de la même série (entre Kendal et Kirby-Lonsdale) comme représentant les *ludlow-rocks* supérieurs et le *tilestone* de la région silurienne (3).

Il est donc avéré que le redressement des couches du Westmoreland est postérieur au dépôt du *tilestone*, mais antérieur à celui du vieux grès rouge proprement dit.

Les couches schisteuses rouges qui sont désignées sous le nom de *tilestone*, ont été considérées jusqu'à ces derniers temps, surtout d'après leur couleur, comme formant l'assise inférieure

(1) A. Sedgwick, *Quarterly Journal of the geological Society*, vol. I^{er}, p. 449.

(2) A. Sedgwick, *Ibid.*, vol. II, p. 449.

(3) A. Sedgwick, *Ibid.*, vol. III, p. 459.

du vieux grès rouge ; mais dans ses publications les plus récentes, M. Murchison a, de son côté, séparé le *tilestone* du vieux grès rouge, pour le comprendre dans le terrain silurien. Dire que le redressement des couches du Westmoreland est postérieur au *tilestone* et antérieur au reste du vieux grès rouge, revient donc exactement à dire qu'il est postérieur au terrain silurien et antérieur au vieux grès rouge, dans l'acception ACTUELLE de ces deux expressions, et qu'il établit la ligne de démarcation entre ces deux grandes formations.

Cet énoncé cadre, d'une manière remarquable, avec celui auquel j'ai été conduit ci-dessus relativement au Hundsrück, lorsque j'ai dit que le redressement de ses couches est postérieur au dépôt du terrain silurien et des couches dévoniennes anciennes, mais antérieur au dépôt du terrain dévonien proprement dit. On doit, en effet, se rappeler que le terrain dévonien, tel que MM. Murchison et Sedgwick l'ont défini originairement d'après l'étude du Devonshire, est la réunion des couches qui, sans avoir la couleur ni la composition du vieux grès rouge, en sont néanmoins les équivalents chronologiques. Or, à l'époque où cette définition a été donnée, le *tilestone* était encore compris dans le vieux grès rouge. Le terrain dévonien, tel qu'on l'a poursuivi sur une partie du continent de l'Europe, d'après ses caractères paléontologiques, comprend donc des couches qui représentent chronologiquement le *tilestone*. Je suis porté à présumer que les couches dévoniennes anciennes, qui font partie du terrain ardoisier de l'Ardenne et du Hundsrück, sont les équivalents chronologiques du *tilestone*, et que le poudingue de Burnot, le calcaire de Givet et le psammite du Condros, que je désigne sous le nom de terrain dévonien proprement dit, représentent collectivement le vieux grès rouge dans le sens restreint ACTUEL de cette expression, le *vieux grès rouge proprement dit*.

Cette question pourra peut-être se décider par une étude nouvelle du Cornouailles et du Devonshire, faite dans ce but spécial. Des couches fossilifères, bien caractérisées comme siluriennes, ont été signalées dernièrement sur la côte S.-E. du Cornouailles, aux environs de Falmouth et de Saint-Austle, par M. Peach. Dans une lettre adressé le 12 avril dernier à sir Charles Lemon, sir Roderick Murchison dit qu'à la première vue des fossiles recueillis par M. Peach, il reconnut qu'il existe au Cornouailles de véritables couches siluriennes, et même des couches siluriennes inférieures, fait dont il trouve la preuve dans la présence de certains *Orthis* à côtes simples, qui sont le caractère invariable de

cette époque. Il annonce en outre que l'une des coquilles, le *Bellerophon trilobatus*, que M. Peach a trouvées avec certains débris de poissons dans la zone des roches de Polperro, est une des coquilles caractéristiques des *tilestones* du Herefordshire et de Shropshire, et a aussi été trouvé dans les couches du même âge du Cumberland (sur les confins du Westmoreland, entre Kirby-Lonsdale et Kendal), couches qui forment, dit-il, l'assise supérieure du terrain silurien ou une transition entre le terrain silurien et le terrain dévonien. M. Murchison ajoute encore que le district du Cornouailles dans lequel existent des couches siluriennes incontestables, est celui dans lequel M. le professeur Sedgwick et sir Henry de La Bèche avaient indiqué l'existence d'une ligne de soulèvement dirigée du N.-E. au S.-O., qui, en amenant au jour certains schistes quartzeux et argileux, avait relevé les couches de part et d'autre au S.-E. et au N.-O. suivant une ligne qui traverse la baie de Falmouth. Avant d'avoir subi ce nouvel examen, toutes ces couches fossilifères du Cornouailles avaient été coloriées comme dévoniennes.

Ainsi que M. le professeur Sedgwick l'a annoncé dans le mémoire de 1831 que j'ai déjà rappelé, les chaînes des Lead-Hills et des Grampians, en Écosse, qui, lorsqu'on les considère avec leurs prolongations dans le nord de l'Irlande, forment deux des lignes fondamentales des îles Britanniques, paraissent avoir reçu les traits principaux de leurs formes en même temps que les montagnes du Westmoreland et que la chaîne fondamentale du Cornouailles. Le vaste massif des montagnes de l'Écosse, comme celui des contrées Rhénanes, a sans doute éprouvé, même dans les Grampians, plusieurs soulèvements successifs à des époques fort éloignées les unes des autres. On y en distinguera probablement de plus anciens que celui qui nous occupe. Il s'y en est aussi produit de plus modernes. J'ai moi-même exprimé depuis longtemps l'opinion que les montagnes de l'Écosse et de l'Irlande, depuis les îles Orcades et Shetland jusqu'aux granites de Wicklow et de Carlow, présentent des dislocations parallèles aux failles du système du Rhin, et qui en sont probablement contemporaines (1). J'ai aussi indiqué, dans ces montagnes, des accidents stratigraphiques postérieurs au dépôt du terrain jurassique et antérieurs à celui des terrains crétacés (2). Peut-être y en a-t-il d'autres encore

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 434.

(2) *Annales des sciences naturelles*, t. XIX.

de dates postérieures ou intermédiaires ; mais il paraît évident que la convulsion qui a façonné le relief principal des Grampians et des Lead-Hills , est précisément celle qui a redressé les couches sur les tranches desquelles reposent les conglomérats grossiers que M. le professeur Sedgwick et M. Murchison ont si bien décrits comme formant dans ces contrées la base du vieux grès rouge (1). Ces poudingues , à très gros fragments , que les anciens géologues écossais signalaient , avec tant de raison , comme les témoins d'une grande révolution du globe , et qui marquaient à leurs yeux la limite entre les terrains primaires et les terrains secondaires , ne rappellent en rien le *tilestone*. Tout annonce qu'ils représentent la base du vieux grès rouge proprement dit.

La présence du terrain silurien n'a pas encore été signalée en Écosse d'une manière complètement démonstrative , mais je crois qu'on peut regarder comme extrêmement probable que les couches de schiste et de grauwacke des Lead-Hills , dont sir James Hall a si bien décrit les contournements , que les calcaires , les schistes argileux et les roches arénacées des Grampians et des îles de Jura et d'Isla , que Playfair , le docteur Mac-Culloch , M. le professeur Jameson et d'autres géologues écossais ont étudiés avec tant de soin , appartiennent , au moins en grande partie , à ce terrain. Il paraît donc difficile de douter que la grande discordance de stratification de l'Écosse ne corresponde exactement à celle du Westmoreland. Il me paraît également probable que le poudingue inférieur du vieux grès rouge de l'Écosse correspond aux poudingues de Burnot et de Pepinster , et , par conséquent , que la grande discordance de stratification de l'Écosse correspond à celle qui existe en Belgique entre le terrain ardoisier et le terrain dévonien proprement dit. Enfin , je crois reconnaître ce même poudingue dans celui de Poullaouen en Bretagne , et en général dans tous ceux que M. Dufrénoy a signalés comme formant dans cette presque île la base du terrain dévonien tel que nous l'avons limité sur la carte géologique de la France. Cet horizon géognostique me paraît le plus largement et le plus fortement marqué de tous ceux qu'on peut indiquer aujourd'hui dans la série des anciens terrains de transition. En l'adoptant comme base de classification on en reviendrait finalement à la principale division que M. d'Omalus

(1) A. Sedgwick and R.-I. Murchison : On the structure and relations of the deposits contained between the primary rocks and the oolitic series in the north of Scotland. — *Transactions of the geological Society of London*, new series, t. III, p. 125.

d'Halley a indiquée depuis longtemps dans la série des terrains de transition, par le partage en terrain ardoisier et terrain anthraxifère, dont il a posé les fondements dès 1808, dans son *Essai sur la géologie du nord de la France*, publié dans le *Journal des mines*, t. XXIV, p. 123. L'importance de cette ligne de démarcation, si heureusement indiquée il y a bientôt quarante ans par l'un des observateurs les plus pénétrants qui aient exploré l'Europe, me paraît d'autant plus grande, que les beaux travaux de MM. Murchison et de Verneuil sur la Suède et la Russie, et le dernier mémoire de M. de Buch sur l'île Baeren (1), montrent qu'elle constitue réellement l'un des traits les plus étendus de la structure de l'Europe septentrionale.

Quelques mots vont suffire pour faire comprendre ma pensée à cet égard.

MM. Murchison et de Verneuil, dans leur dernier voyage en Suède, ont constaté que l'île de Gothland présente les différents étages du terrain silurien superposés l'un à l'autre, plongeant légèrement au S.-S.-E., et formant des crêtes qui se dirigent à l'E.-N.-E.

Le magnifique ouvrage de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling, sur la Russie, nous montre la côte méridionale du golfe de Finlande, formée aussi par les différentes assises du terrain silurien, présentant encore une inclinaison légère, mais dirigée vers un point de l'horizon plus rapproché du S. que le S.-S.-E., et avec cette circonstance que les couches siluriennes supérieures ne se montrent que dans la partie occidentale de cette côte. Au midi, et à peu de distance de cette même côte, le vieux grès rouge, qui couvre en Russie de si grands espaces, se superpose au terrain silurien; mais à l'O., en face de l'île de Dago, il est en contact avec les couches siluriennes supérieures, tandis qu'à l'E., près de Saint-Petersbourg et du lac Ladoga, il s'appuie directement sur les couches siluriennes inférieures: par conséquent il est superposé au terrain silurien en stratification discordante.

De plus, il n'est assujetti en rien aux allures du terrain silurien. Il le déborde, à partir du lac de Ladoga, pour s'étendre vers Archangel, où il se perd sous les eaux de la mer Blanche. Enfin, les remarques ingénieuses que M. de Buch a consignées dans son beau mémoire sur l'île Baeren, nous conduisent à concevoir que,

(1) Die Baeren-Insel nach B. M. Keilhau, von Leopold von Buch. — Berlin, 1847.

s'étendant sous les eaux de la mer Glaciale, le vieux grès rouge entoure au N. le vaste système des montagnes de la Scandinavie pour aller se relever dans les îles Shetland et au pied des montagnes de l'Écosse.

Souvent disloqué dans ces contrées septentrionales, le vieux grès rouge y laisse cependant apercevoir un vaste réseau de dislocations plus fortes encore, et antérieures à son dépôt, dont une partie ont affecté les couches siluriennes d'une manière plus ou moins sensible.

Ainsi l'horizon géognostique du poudingue de Burnot, de Pépinstet et de l'Écosse, forme un des traits les plus largement dessinés de la structure stratigraphique de l'Europe septentrionale, depuis la rade de Brest jusqu'à la mer Blanche, et depuis les îles Shetland jusqu'à l'Ardenne et même jusqu'aux ballons des Vosges.

J'ajouterai peut-être quelque chose encore à l'intérêt que peut présenter cette rapide esquisse, si je montre que dans tout ce vaste espace, et même dans des contrées qui s'étendent beaucoup plus au midi, on peut suivre un grand ensemble de dislocations toutes concordantes entre elles par leurs directions, et toutes postérieures au terrain silurien et aux couches dévoniennes anciennes (*tilestone fossilifère*), mais toutes antérieures au vieux grès rouge et au terrain dévonien *proprement dit*.

Il ne me sera pas possible de comprendre aujourd'hui dans ce résumé la totalité des localités européennes dans lesquelles on a observé des directions dépendantes du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*. Je me bornerai à un certain nombre pour lesquelles j'ai actuellement des observations plus nombreuses ou plus précises que pour les autres, et je m'occuperai de grouper toutes ces observations de manière à en déduire une moyenne générale par les procédés que j'ai indiqués au commencement de cette note; puis je comparerai cette moyenne générale aux observations locales pour apprécier l'importance des divergences partielles qui pourront se manifester.

Je vais passer en revue successivement, en allant du nord au sud, ces diverses localités ou cantons géologiques. Dans chacun d'eux, je remplacerai toutes les observations de direction par une moyenne qui représentera la direction d'un petit arc du grand cercle dont le milieu se rapporterait au centre du canton. On se rappellera qu'un léger déplacement dans ce point central n'apporterait pas de changement sensible dans le résultat final, d'où il suit que la détermination de ce point n'exige aucun travail spécial.

Pour chaque canton, je désignerai le point central de la manière la plus simple possible, et j'indiquerai sa latitude, sa longitude et l'orientation du petit arc du grand cercle qui y représente les observations de direction.

1° *Laponie*. Dans ces dernières années, M. le professeur Keilhau a fait d'excellentes observations géologiques dans la Laponie norvégienne. Elles ont paru dans sa *Gea-Norvegica* avec une carte géologique de cette contrée, et M. de Netto en a publié, dans un des derniers numéros du journal de MM. Lehouard et Bronn, un résumé accompagné d'une carte réduite (1). Les formations sédimentaires de la Laponie, déjà décrites en partie, il y a quarante ans, par M. Léopold de Buch, appartiennent, suivant toute apparence, au terrain silurien. Elles sont redressées dans des directions qui se rapprochent généralement de l'E.-N.-E. Je rapporte leur direction moyenne, déterminée simplement d'après la carte de M. de Netto, à un point à peu près central de la Laponie, pour lequel les désignations que j'ai annoncées sont : *Laponie*, lat. 70° N.; long. 23° 30' E.; *direction* E. 22° 30' N.

2° *Côte méridionale du golfe de Finlande*. La direction de la bande silurienne des provinces baltiques de la Russie, est assez exactement représentée par une ligne tirée de Revel à Cronstadt. Cette ligne, qui est sensiblement parallèle à la direction des couches siluriennes et à la direction générale de la côte méridionale de la Finlande, coupe le méridien de Dorpat, qui répond au milieu de la longueur du golfe de Finlande, sous un angle de 73°. Pour ce canton géologique, les désignations seront : *Estonie*, lat. 59° 30'; long. 24° 23' 15'' E.; *direction* E. 17° N.

3° *Ile de Gothland*. Dans l'île de Gothland, les couches siluriennes plongent légèrement au S.-S.-E. et sont dirigées à l'E.-N.-E. (2). On peut prendre pour point central de ce canton la ville de Wisby, située à peu près au milieu de la longueur de l'île. *Wisby*, lat. 58° 39' 15''; long. 16° 6' 15'' E.; *direction* E. 22° 30' N.

4° *Grampians*. Le trait le plus facile à saisir dans la structure stratigraphique des Grampians est la direction presque rectiligne de leur base méridionale. Cette direction fait, avec le méridien du Loch-Tay qui se trouve presque au milieu de sa longueur, un

(1) *Jahrbuch für mineralogie, geognosie un petrefactenkunde*, année 1847, p. 129.

(2) Murchison, *Quarterly Journal of geology*, février 1847, t. III, p. 24.

angle de 52° . Je prends pour point central de ce groupe un point situé sur les bords du Loch-Tay, par $56^{\circ} 25'$ de latitude nord et $6^{\circ} 37'$ de longitude à l'O. de Paris. La désignation que j'ai annoncée devient alors pour ce groupe : — *Grampians*, lat. $56^{\circ} 25' N.$, long. $6^{\circ} 37' O.$, direction E., $38^{\circ} N.$

5° *Westmoreland*. D'après M. le professeur Sedgwick, les couches du groupe montagneux du Westmoreland se dirigent généralement du S.-O. un peu O., au N.-E. un peu E. J'adopte comme moyenne la direction E. $37^{\circ} 30' N.$, et pour point central la ville de Keswick. — *Keswick*, lat. $54^{\circ} 35' N.$, long. $5^{\circ} 9' 13'' O.$, direction E. $37^{\circ} 30' N.$

6° *Région silurienne*. Je prends pour centre de cette région le bourg de Church-Stretton, situé au pied du Longmynd, et pour direction la moyenne de celles que la belle carte de M. Murchison assigne aux couches siluriennes. — *Church-Stretton*, lat. $52^{\circ} 35'$, long. $5^{\circ} 10', 20'' O.$, direction E. $42^{\circ} N.$

7° *Cornouailles*. La ligne suivant laquelle les couches siluriennes sont soulevées sur la côte S.-E. du Cornouailles, se dirige, d'après M. Murchison, au N.-E. et traverse la baie de Falmouth. Je prends cette ville pour point central. — *Falmouth*, lat. $50^{\circ} 8'$, long. $7^{\circ} 23' O.$, direction E. $45^{\circ} N.$

8° *Erzgebirge*. D'après le travail publié dernièrement par M. le professeur Cotta sur les filons de l'Erzgebirge (1), la direction moyenne des roches stratifiées de l'Erzgebirge rapportée au méridien magnétique, est *hora* $5 \frac{1}{4}$. La déclinaison à Freiberg étant d'environ $16^{\circ} 40' O.$, cette orientation revient à E. $27^{\circ} 55' N.$ par rapport au méridien astronomique. Je prends naturellement pour point central Freiberg. — *Freiberg*, lat. $50^{\circ} 55' 5'' N.$, long. $11^{\circ} 0' 25'' E.$, direction E. $27^{\circ} 55' N.$

9° *Frankenwald*. Je prends pour point central la ville de Hof, où M. de Humboldt résidait lorsqu'il a eu la première idée de s'occuper de la direction remarquablement constante des couches de ces contrées, et je prends pour direction celle figurée sur la belle carte géologique de l'Europe centrale, par M. de Dechen, qui est E. $28^{\circ} N.$: les calcaires d'Ebersreuth, près Bayreuth, appartiennent à ce groupe. — *Hof*, lat. $50^{\circ} 29' N.$, long. $9^{\circ} 35' E.$, direction E. $28^{\circ} N.$

10° *Bohême*. J'ai fait en Bohême, en 1837, un certain nombre

(1) Cotta, *Die Erzgange und ihre Bezeichnungen zu deu Eruptivengesteinen, nachgewiesen im departement de l'Aveyron von Fournet.*

d'observations sur les directions des couches du terrain de calcaire, de schiste et de quartzite dont M. Joachim Barrande a si bien établi depuis lors l'ordre de superposition et l'âge silurien ; j'en ai fait aussi sur les directions des schistes et des gneiss qui avoisinent le terrain silurien. Vingt-huit de ces observations faites aux environs de Prague, de Prizibram et de Brzezina, tombent entre l'E et l'E. 50° N., et donnent, pour moyenne, la direction E. 28° 40' N. Si on se bornait aux observations faites sur les couches siluriennes, la direction moyenne serait un peu moins éloignée de la ligne E.-O. Je m'en tiens à la moyenne générale. — Prague, lat. 50° 5' 19", long. 12° 5' E., direction E. 28° 40' N.

11° *Ardenne*. Les couches du terrain ardoisier de l'Ardenne se dirigent en général entre le N.-E. et l'E.-N.-E. ; d'après l'important mémoire que M. Dumont vient de publier sur le *terrain ardennais*, elles oscillent autour d'une moyenne qui est à peu près E. 25° N. J'avais indiqué moi-même d'une manière générale entre Charleville et Fépin une direction moyenne de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O., en signalant en plusieurs points la direction E. 25° N. (1) ; et d'après l'autorité de M. Dumont, qui a fait dans cette contrée des observations plus nombreuses que les miennes, je n'hésite pas à m'arrêter à cette même direction E. 25° N. qu'on peut rapporter à Mont-Hermé dans la vallée de la Meuse. — Ardenne, lat. 49° 53', long. 2° 23' E., direction E. 25° N.

12° *Condros*. La direction moyenne des couches de l'Ardenne présente quelque incertitude à cause des écarts nombreux et considérables qu'on y observe, et cela m'engage à faire entrer en ligne de compte la direction beaucoup plus régulière des couches anthraxifères de Condros, direction que je regarde, ainsi que je l'ai annoncé ailleurs (2), comme une reproduction postérieure et accidentelle de celle des couches de l'Ardenne. D'après M. d'Omalus d'Halloy (3), les crêtes du Condros se dirigent régulièrement à l'E. 35° N. Le centre du Condros est un peu au N. de Marche et Famene, par 3" de long. E. de Paris, et 50° 15' de lat. N. — Condros, lat. 50° 15', long. 3° E., direction E. 35° N.

13° *Taunus*. La chaîne du Taunus présente sur la route de Wies-

(1) *Explication de la carte géologique de la France*, chap. iv, t. I^{er}, p. 259 à 263.

(2) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe*, extrait inséré dans la traduction française du *Manuel géologique* de M. de La Bèche, p. 646.

(3) D'Omalus d'Halloy (*Journal des mines*, t. XXIV, p. 275).

baden à Langen-Schwalbach, une série de couches de quartzites et de schistes, dont la direction moyenne est à l'E. $33^{\circ} 13' N.$ — *Taunus*, lat. $50^{\circ} 41' N.$ long. $5^{\circ} 47' E.$, direction E. $33^{\circ} 13' N.$

14° *Binger-Loch*. Le Taunus est le prolongement oriental de la chaîne du Hunsrück, dont il est séparé par le Rhin, qui s'échappe de la plaine de Mayence par le défilé appelé le *Binger Loch*. Dans ce défilé la direction des couches de quartzites et de schistes verts de l'extrémité de Hunsrück, est assez irrégulière, ce qui tient sans doute à la formation violente de la fissure dont l'élargissement a produit le défilé. La moyenne des observations que j'y ai faites m'a donné la direction E. $43^{\circ} 50' N.$ — *Binger-Loch*, lat. $49^{\circ} 55'$, long. $5^{\circ} 30' E.$, direction E. $43^{\circ} 50' N.$

15° *Hunsrück-Taunus*. Le Hunsrück et le Taunus ne forment réellement, comme on vient de le dire, qu'une seule chaîne coupée en deux par un défilé. La direction moyenne de cette chaîne, qui représente assez bien celle des diverses bandes du terrain de transition de la contrée, est à l'E. $27^{\circ} 30' N.$ On peut la rapporter au défilé qui partage la chaîne en deux tronçons. — *Binger-Loch*, lat. $49^{\circ} 55'$, long. $5^{\circ} 30' E.$, direction E. $27^{\circ} 30' N.$

16° *Bretagne*. Parmi les directions comprises dans la désignation générale *hora 3-4* qui s'observent dans les roches schisteuses d'une foule de points de la presqu'île de Bretagne, une partie seulement me paraît se rapporter proprement au système du Westmoreland et du Hunsrück. On en voit un exemple bien développé dans les départements de l'Ille-et-Vilaine et des Côtes-du-Nord, aux environs de Cancale, de Jugon et de Lamballe. Point central, Saint-Malo. — *Saint-Malo*, lat. $48^{\circ} 39' 3''$, long. $4^{\circ} 21' 26'' O.$, direction E. $42^{\circ} 15' N.$

17° *Bretagne*. Lorsqu'on jette les yeux sur la partie de la carte géologique de la France qui représente la presqu'île de Bretagne, on est frappé de certaines lignes d'accidents stratigraphiques qui la traversent en entier, par exemple de Caen à Belle-Isle et du cap de la Hague à la pointe de Penmarch. La direction moyenne de ces lignes est à l'E. $47^{\circ} N.$; elles me paraissent devoir représenter la direction du système de Westmoreland et de Hunsrück; on peut les rapporter à Saint-Malo comme point central. — *Saint-Malo*, lat. $48^{\circ} 39' 3''$, long. $4^{\circ} 21' 26'' O.$, direction E. $47^{\circ} N.$

18° *Schirmeck*. Aux environs de Schirmeck et de Framont les couches dévoniennes anciennes qui forment l'extrémité N.-E. du massif fondamental des Vosges se dirigent à l'E. $30^{\circ} N.$ — *Schirmeck*, lat. $48^{\circ} 26' 40''$, long. $4^{\circ} 45' E.$, direction E. $30^{\circ} N.$

19° *Massif central des Vosges*. Les couches schisteuses qui en-

trent dans la composition du massif fondamental des Vosges se dirigent moyennement à l'E. 35° N. ; on peut rapporter ces directions à Saint-Dié comme point central. — *Saint-Dié*, lat. $48^{\circ} 17' 27''$, long. $4^{\circ} 36' 39''$ E., direction E. 35° N.

20° *Montagne Noire*. Les directions observées dans le massif de la montagne Noire, au nord de Carcassonne, dont j'ai déjà parlé, peuvent être rapportées à un point à peu près central de ce massif situé par $43^{\circ} 25'$ lat. N. et $20'$ longitude O. de Paris. — *Montagne Noire*, lat. $43^{\circ} 25'$ N., long. $20'$ O., direction E. 34° N.

21° *Hyères*. Les couches schisteuses de la partie S.-O. des montagnes des Maures présentent, aux environs d'Hyères, des directions moins éloignées de la ligne E.-O. que dans le reste du massif; très souvent leur direction est à peu près E.-N.-E. — *Hyères*, lat. $43^{\circ} 7' 2''$, long. $3^{\circ} 47' 40''$, direction E. $22^{\circ} 30'$ N.

22° *Ile de Corse*. Les roches anciennes de l'île de Corse se dirigent moyennement, d'après M. Reynaud, vers l'E.-N.-E.; on peut les rapporter à Ajaccio comme point central. — *Ajaccio*, lat. $41^{\circ} 55' 1''$, long. $6^{\circ} 23' 49''$ E., direction E. $22^{\circ} 30'$ N.

Il s'agit maintenant de prendre correctement la *moyenne générale* de ces 22 directions moyennes partielles, en ayant égard aux positions géographiques respectives des points auxquels elles se rapportent.

Pour cela nous exécuterons l'opération indiquée dans le commencement de cette note. Nous choisirons un point sur la direction *présumée* du grand cercle de comparaison, qui doit représenter le système du Westmoreland et du Hundsrück, et auquel tous les petits arcs qui représentent les directions locales sont considérés comme étant approximativement parallèles; nous y transporterons toutes les directions et nous en prendrons la moyenne.

Je suppose que le grand cercle de comparaison dont il s'agit passe au *Binger-Loch*, et je prends ce point pour *centre de réduction*.

Pour transporter au *Binger-Loch* la direction E. $22^{\circ} 30'$ N., observée en Laponie par 70° de lat. N. et $23^{\circ} 30'$ de long. E., je détermine, au moyen du tableau de la page 881, la différence des angles alternes internes que forme, avec les méridiens du Binger-Loch et du point d'observation en Laponie, l'arc de grand cercle qui réunit ces deux points : la différence est de $15^{\circ} 35' 23''$. J'en conclus que, transportée au Binger-Loch, la direction E. $22^{\circ} 30'$ N., observée en Laponie, deviendra E. $22^{\circ} 30' + 15^{\circ} 35' 23'' = \epsilon$ N., ϵ étant l'excès sphérique d'un triangle sphérique rectangle dont je m'occuperai ultérieurement.

Exécutant la même opération pour chacun des 20 points dont les directions doivent être transportées au Binger-Loch, je forme le tableau suivant, dans lequel je comprends également les deux directions qui se rapportent au Binger-Loch même, et je fais l'addition.

1° Laponie.	E. 22° 30'	+	15° 35' 23''	—	ε . N.
2° Estonie.	E. 17 »	+	15 34 49	—	ε . N.
3° Wisby.	E. 22 30	+	8 37 46	—	ε . N.
4° Grampians.	E. 38 »	—	9 43 9	+	ε . N.
5° Keswick.	E. 37 30	—	8 26 24	+	ε . N.
6° Church-Stretton. . . .	E. 42 »	—	8 20 56	+	ε . N.
7° Falmouth.	E. 45 »	—	9 53 24	+	ε . N.
8° Freiberg.	E. 27 55	+	4 1 16	+	ε . N.
9° Hof.	E. 28 »	+	3 8 35	+	ε . N.
10° Prague.	E. 28 40	+	5 3 14	+	ε . N.
11° Ardenne.	E. 25 »	—	2 23 6	+	ε . N.
12° Condros.	E. 35 »	—	1 55 12	+	ε . N.
13° Taunus.	E. 33 13	+	» 13 3	+	ε . N.
14° Binger-Loch (couches).	E. 43 50	»	» » »	»	» . N.
15° Binger-Loch (chaîne). .	E. 27 30	»	» » »	»	» . N.
16° St-Malo (couches). . .	E. 42 15	—	7 28 59	+	ε . N.
17° St-Malo (grandes lignes).	E. 47 »	—	7 28 59	+	ε . N.
18° Schirmeck.	E. 30 »	—	» 34 14	—	ε . N.
19° St-Dié.	E. 35 »	—	» 40 17	—	ε . N.
20° Montagne Noire. . . .	E. 34 »	—	4 13 37	—	ε . N.
21° Hyères.	E. 22 30	—	1 13 47	—	ε . N.
22° Ajaccio.	E. 22 30	+	» 38 53	—	ε . N.
Somme.	706° 53'	—	9° 29' 5''	+	Σ ± ε

La somme, toute réduction faite, est de $697^{\circ} 23' 55'' + \Sigma \pm \epsilon$, et en la divisant par 22, on a pour la moyenne des directions rapportées au Binger-Loch

$$E. 31^{\circ} 41' 59'' + \frac{\Sigma \pm \epsilon}{22} N.$$

Pour qu'elle ne renferme plus rien d'indéterminé, il reste seulement à apprécier la valeur de $\Sigma \pm \epsilon$. La quantité ϵ que j'ai fait entrer dans le tableau, est, comme je l'ai indiqué ci-dessus, p. 888, l'*excès sphérique* d'un triangle sphérique rectangle qui a pour hypoténuse la plus courte distance du *point central de réduction* (Binger-Loch) au point d'observation auquel elle se rapporte, et pour l'un des angles aigus, l'angle formé par la direction transportée au Binger-Loch avec la plus courte distance. Il est aisé de voir que, suivant la position respective du point central de réduction et du point d'observation et suivant la direction qui a été observée, l'*excès sphérique* dont il s'agit doit être employé soustractivement ou additivement, ainsi que le tableau l'indique et comme je l'ai aussi

rappelé dans l'expression de la somme, en y écrivant $\Sigma \pm \epsilon$. Le tableau renferme 20 de ces quantités ϵ , dont 8 soustractives et 12 additives. La plupart sont nécessairement fort petites, et comme elles entrent dans la somme avec des signes contraires, elles doivent se détruire mutuellement, à très peu de chose près. Mais quelques unes, se rapportant à des points assez éloignés auxquels correspondent d'assez grands triangles, ont des grandeurs notables. La somme $\Sigma \pm \epsilon$ se réduit sensiblement à celle de ces valeurs plus grandes que les autres, prises elles-mêmes avec le signe qui leur convient. Il est nécessaire de calculer les plus grandes de ces valeurs de ϵ pour apprécier l'influence qu'elles peuvent exercer sur la détermination de la direction moyenne.

Le calcul s'exécute très simplement au moyen du tableau de la page 898, ou en se servant directement des formules consignées page 899.

Par une simple construction faite sur une carte, on trouve que pour la Laponie on a approximativement $b = 22^\circ = 2444$ kil. $A = 34^\circ 1/2$, ce qui donne, à l'aide de la formule $\cos C = \cos b \tan A$, $\epsilon = 1^\circ 59' 35''$.

Pour tous les autres points on peut se contenter des résultats tirés à vue du tableau de la page 898, d'après les distances et les angles déterminés sur la carte, et on trouve :

Pour l'*Estonie*, $b = 1611$ kil., $A = 18^\circ$, $\epsilon = 33'$;

Pour *Wisby*, $b = 1102$ kil., $A = 24^\circ$, $\epsilon = 19'$;

Pour les *Grampians*, $b = 1073$ kil., $A = 74^\circ 30'$, $\epsilon = 12'$;

Pour *Keswick*, $b = 889$ kil., $A = 68^\circ 30'$, $\epsilon = 12'$;

Pour Church-Stretton, $b = 786$ kil., $A = 60^\circ$, $\epsilon = 12'$;

Pour Falmouth, $b = 907$ kil., $A = 41^\circ 1/2$, $\epsilon = 17'$;

Pour Saint-Malo (couches), $b = 722$ kil., $A = 28^\circ$, $\epsilon = 9'$;

Pour Saint-Malo (gr. lignes), $b = 722$ kil., $A = 32^\circ 45'$, $\epsilon = 10'$;

Pour la montagne Noire, $b = 741$ kil., $A = 26^\circ 30'$, $\epsilon = 10'$;

Pour Hyères, $b = 772$ kil., $A = 57^\circ 30'$, $\epsilon = 12'$;

Pour Ajaccio, $b = 893$ kil., $A = 71^\circ 30'$, $\epsilon = 10'$.

Les valeurs de ϵ relatives aux autres points, tous plus rapprochés du Binger-Loch que les précédents, seraient encore plus petites, et comme elles entrent dans la valeur de $\Sigma \pm \epsilon$, les unes positivement et les autres négativement, elles doivent se détruire presque exactement entre elles : on peut se dispenser d'en tenir compte.

Quant aux valeurs de ϵ qui viennent d'être calculées, la somme de celles qui sont prises négativement est $3^\circ 23' 35''$, la somme de celles qui sont prises positivement est $1^\circ 12'$; donc $\Sigma \pm \epsilon = -2^\circ$

11' 35" et $\frac{\Sigma \pm \epsilon}{22} = -5' 58''$, ou en nombres ronds à $\Sigma \pm \epsilon = -6'$.

Or, dans l'état actuel des observations, il n'y a presque pas lieu de tenir un compte rigoureux d'un pareil résultat. Plusieurs des directions, dont nous prenons la moyenne, après les avoir transportées au Binger-Loch, présentent des incertitudes de plus de 3°, et le remplacement de leur valeur réelle exacte pour leur valeur approximative actuelle pourrait faire varier la moyenne de plus de 6'. Toutefois, comme il est évident que la somme des *excès sphériques* est négative, et qu'elle tend à diminuer la moyenne de plusieurs minutes, nous y aurons égard, autant qu'il est permis de le faire aujourd'hui, en adoptant pour la direction moyenne du système du Westmoreland et du Hundsrück, transportée au Binger-Loch, un chiffre un peu plus petit que celui donné par notre premier calcul, et nous la fixerons en *nombres ronds* à E. 31° 30' N.

Je ferai remarquer, en passant, combien le choix d'un point à peu près central, comme le Binger-Loch, pour centre de réduction, a simplifié notre marche : d'une part, la somme des angles ajoutés ou retranchés aux directions transportées pour tenir compte de la convergence des méridiens vers le pôle, s'est réduite, toute compensation faite, à $-9^{\circ} 29' 5''$; d'une autre part, la somme des excès sphériques s'est réduite, toute compensation faite, à environ $2^{\circ} 11'$; de sorte que le nombre 31° 30', qui représente la direction, diffère peu d'être la 22^e partie de $706^{\circ} 23'$, somme des nombres qui représentent les directions partielles, car $\frac{706^{\circ} 23'}{22} = 32^{\circ} 6' 30''$. Le résultat de tous ces calculs est d'arriver à réduire cette moyenne de $36' 30''$. Or, en y arrivant, comme nous l'avons fait par une série de compensations, on évite beaucoup de chances d'erreurs dans lesquelles on aurait été plus exposé à tomber en prenant pour centre de réduction un point excentrique tel que la montagne Noire ou la Laponie.

Il nous reste maintenant à nous rendre compte du degré de confiance que mérite notre moyenne. Pour cela j'exécute l'opération inverse de celle que j'ai faite, en transportant au centre de réduction toutes les directions observées; je reporte la direction moyennée du centre de réduction à chacun des points d'observation, et je la compare à la direction observée. Dans ce nouveau transport je ne tiendrai compte de l'excès sphérique que pour les points où je l'ai déterminé ci-dessus, points qui sont les seuls où il ait quelque importance. A la rigueur il faudrait calculer de

nouveau l'*excès sphérique* pour chacun des points d'observation en le rapportant à la direction moyenne déterminée pour le Binger-Loch, et non à la direction observée en chaque point; mais les corrections qui résulteraient de ces nouveaux calculs seraient peu considérables et peuvent être négligées.

D'après les calculs auxquels nous nous sommes déjà livrés, la direction E. $32^{\circ} 1/2$ N. transportée, ainsi que je viens de le dire, du Binger-Loch au point d'observation en Laponie, devient E. $31^{\circ} 30' - 15^{\circ} 35' 23'' + 1^{\circ} 59' 35''$ N. = E. $17^{\circ} 54' 12''$ N. Elle diffère de la direction observée E. $22^{\circ} 30'$ N., de $4^{\circ} 35' 48''$.

En opérant de la même manière pour tous les autres points d'observation, j'ai formé le tableau suivant :

	Direction			Différence.	
	calculée.	observée.			
Laponie.	E. $17^{\circ} 54' 12''$ N.	$22^{\circ} 30'$	+	$4^{\circ} 35' 48''$	
Estonie.	E. 16 28 17 N.	17 »	+	0 31 43	
Wisby.	E. 23 11 14 N.	22 30	—	0 41 14	
Grampians.	E. 41 1 9 N.	38 »	—	3 1 9	
Keswick.	E. 40 14 24 N.	37 30	—	2 14 24	
Church-Stretton. . . .	E. 39 44 56 N.	42 »	+	2 15 4	
Falmouth.	E. 41 6 24 N.	45 »	+	3 53 36	
Freiberg.	B. 27 28 44 N.	27 55	+	0 26 16	
Hof.	E. 28 21 25 N.	28 »	—	0 21 25	
Prague.	E. 26 26 46 N.	28 40	+	2 13 14	
Condros.	E. 33 25 12 N.	35 »	+	1 34 48	
Ardenne.	E. 33 53 6 N.	25 »	—	8 53 6	
Taunus.	E. 31 16 57 N.	33 13	+	1 56 3	
Binger-Loch (couches).	E. 31 30 00 N.	42 50	+	12 20 00	
Binger-Loch (chaîne). .	E. 31 30 00 N.	27 30	—	4 00 00	
St-Malo (couches). . . .	E. 38 49 59 N.	42 15	+	3 25 1	
St-Malo (grandes lignes).	E. 38 48 59 N.	47 »	+	8 11 1	
Schirmeck.	E. 32 4 14 N.	30 »	—	2 4 14	
St-Dié.	E. 32 10 17 N.	35 »	+	2 49 43	
Montagne Noire. . . .	E. 35 53 37 N.	34 »	—	1 53 37	
Hyères.	E. 32 55 47 N.	22 30	—	10 25 47	
Ajaccio.	E. 31 1 7 N.	22 30	—	8 31 7	
				+	$2^{\circ} 5' 25''$

La somme des différences ne devait pas être nulle, parce que nous avons adopté pour le point central de réduction (Binger-Loch) la direction E. $31^{\circ} 30'$ N. exprimée en nombres ronds, au lieu de la moyenne des directions transportées en ce point. Pour plusieurs des points d'observation les différences sont considérables, mais on n'a pas droit d'en être surpris d'après la nature même des observations faites dans ces points. Ainsi pour les couches du Binger-Loch la différence est de plus de 12° , mais nous avons remar-

qué tout d'abord que la direction est probablement anormale. Pour Hyères, pour Ajaccio et pour la Laponie, les différences sont considérables aussi, mais nous avons simplement employé pour ces trois points la direction E.-N.-E. Or, lorsqu'on exprime une direction de cette manière, il est généralement sous-entendu qu'on ne prétend pas les fixer très rigoureusement. Pour les grandes lignes qui traversent la Bretagne la différence est de $8^{\circ} 11'$ environ ; mais la direction de ces lignes ne se prête pas à une détermination complètement rigoureuse. Pour l'Ardenne, la différence est de près de 9° : c'est une des plus considérables et peut-être des plus singulières que renferme le tableau. Je suis porté à l'attribuer principalement à ce que la dislocation qui a relevé le front de l'Ardenne, près de Mézières, suivant la direction du système des ballons (1), a comprimé la masse des terrains schisteux situés plus au nord, et rapproché leur direction de la ligne E.-O. La production des dislocations du système du Hainaut peut encore avoir concouru plus tard au même résultat. Quant aux autres points, pour lesquels la direction observée paraît mériter plus de confiance, les différences ne dépassent pas 4° , et elles sont le plus souvent au-dessous de 3° , c'est-à-dire qu'elles ne sont guère au-dessus des incertitudes et des erreurs que comportent les observations elles-mêmes.

Nous remarquerons encore que les différences les plus considérables sont les unes en plus et les autres en moins, d'où il résulte qu'elle approchent beaucoup de se compenser, et qu'on retrouverait à très peu près la même moyenne, en regardant comme défectueuses les observations qui y ont donné naissance, et en ne tenant compte que des autres.

Enfin, faisant un retour vers le point de départ de toutes les observations de ce genre, nous remarquerons que non seulement la direction E. $31^{\circ} 1/2$ N., qui se rapporte à un point de l'Allemagne septentrionale, rentre complètement dans l'indication *hora* 3-4, donnée il y a plus d'un demi-siècle par M. de Humboldt ; mais que cette moyenne, transportée à Hof, ne diffère pas d'un demi-degré de la direction générale des couches de Frankenwald que l'illustre voyageur a signalée, au début de sa carrière, comme se reproduisant d'une manière très générale dans les couches schisteuses anciennes d'une grande partie de l'Europe.

La direction moyenne E. $31^{\circ} 1/2$ N. que nous avons adoptée pour

(1) Voyez *Explication de la carte géologique de la France*, chap. IV, t. I^{er}, p. 266.

le Binger-Loch, détermine celle de la tangente directrice du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*. L'angle A, formé par cette tangente avec le méridien du Binger-Loch, est égal au complément de $31^{\circ} 1/2$ ou à $58^{\circ} 1/2$.

Mais pour déterminer complètement sur la sphère terrestre la position de ce système dont nous avons *supposé* que le grand cercle de comparaison passe par le Binger-Loch, il faudrait confirmer ou rectifier cette supposition en déterminant, comme je l'ai indiqué dans la première partie de cette note, l'angle équatorial E.

Malheureusement les données que nous avons soumises au calcul ne paraissent pas assez précises pour conduire à une valeur de cet angle, à laquelle on puisse attacher une importance réelle. Le point de départ des calculs à faire se trouverait dans les différences contenues dans le tableau que nous venons de former; mais ces différences ne suivent aucune loi régulière, tout annonce qu'elles sont dues en grande partie aux erreurs d'observation, et qu'en les employant dans un calcul, on le baserait sur une combinaison de chiffres presque entièrement fortuite. Il n'y a pas lieu d'exécuter un pareil calcul; ainsi, quant à présent, l'opération ne peut être poussée plus loin, et nous sommes obligé de nous en tenir à la *supposition* que le grand cercle qui passe au Binger-Loch en se dirigeant à l'E. $31^{\circ} 1/2$ N., est le grand cercle de comparaison ou l'équateur du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*.

Il est probable, sans doute, que cette supposition n'est pas tout à fait exacte et qu'elle est destinée à subir une *rectification ultérieure*. Il est toutefois à observer que le grand cercle dont il s'agit divise à peu près en deux parties égales l'ensemble des points où ont été observés jusqu'à présent les ridements dépendants du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, et cette remarque doit porter à présumer que le grand cercle de comparaison provisoire que nous adoptons ne sera pas déplacé, dans la suite, d'une quantité très considérable.

Après avoir ainsi discuté la direction du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, après avoir reconnu que le groupe compact et uniforme des lignes stratigraphiques dont ce système se compose, est antérieur, dans toute l'Europe, au vieux grès rouge et au terrain dévonien proprement dit, et postérieur au terrain silurien et aux couches dévoniennes anciennes (*tilestone* et *tilestone fossilifère*), nous pourrions nous montrer plus difficiles que par le passé, pour y laisser renfermés des accidents stratigraphiques qui n'y figuraient qu'à titre d'anomalies. Nous pourrions, suivant la marche que j'ai indiquée depuis longtemps (voyez le commen-

cement de cette note), essayer de séparer ces anomalies et de les grouper elles-mêmes en systèmes.

D'après les observations déjà anciennes de M. Murchison, consignées et figurées, dès l'année 1835, dans sa première notice sur le système silurien, les collines du *Longmynd*, dans la région silurienne, sur les pentes desquelles se trouve le bourg de *Church-Stretton*, sont formées de schistes et de grauwackes schisteuses. Les couches de ces roches sont fortement redressées et courent au N. 25° E. Les couches siluriennes les plus anciennes reposent sur leurs tranches en stratification discordante. Ces dernières, beaucoup moins redressées que celles qui leur servent de support, se dirigent à l'E. 42° N.; la différence entre les deux directions est de 23°, et la différence entre la première et la direction E. 39° 44' 56" N. du système du Westmoreland et du Hunsrück, transportée à Church-Stretton, est de 25° 15' 4", c'est-à-dire plus que double de la plus grande des différences contenues dans le *tableau des différences* que j'ai présenté ci-dessus; bien que dans la région silurienne proprement dite les deux classes de directions forment deux groupes fort réguliers. Comme il est évident, en même temps, que les couches du Longmynd ont été redressées avant le dépôt des couches siluriennes les plus anciennes de la contrée, notamment avant celui du *caradoc sandstone*, j'ai cru devoir considérer le *Longmynd* comme le type d'un nouveau système de montagnes plus ancien que le terrain silurien et que je propose de nommer *système de Longmynd*.

Partant de ce premier aperçu, j'ai cherché si, en *épluchant*, pour ainsi dire, tous les accidents stratigraphiques des couches les plus anciennes de l'Europe, dirigés entre le N. et le N.-E., je n'en trouverais pas un certain nombre dont l'âge fût de même antérieur au terrain silurien, et dont les directions fussent assez peu divergentes pour qu'il y eût lieu d'en prendre la moyenne après les avoir toutes ramenées à un *point central de réduction* par le procédé que j'ai employé ci-dessus.

Voici les résultats que j'ai obtenus. Ils sont encore peu nombreux; ils me paraissent suffire cependant pour donner déjà une assez grande probabilité à l'existence réelle du *système du Longmynd*.

1° *Région silurienne*. Dans les collines du *Longmynd*, aux environs de Church-Stretton, la stratification des roches schisteuses et arénacées sur lesquelles le *caradoc sandstone* repose en stratification discordante est dirigée au N. 25° E. — Church-Stretton, lat. 52° 35', long. 5° 10' 20" O., direction N. 25° E.

2° *Bretagne*. Les schistes anciens de la Bretagne présentent dans certaines parties de cette presqu'île beaucoup d'accidents stratigraphiques dirigés à peu près au N.-N.-E. Cette direction se manifeste particulièrement par la forme allongée du S.-S.-O., au N.-N.-E. d'un grand nombre de masses éruptives de granite et de syénite qui pénètrent les schistes anciens, et par la manière dont différentes masses de cette nature s'alignent et se raccordent entre elles. On voit beaucoup d'exemples de ce phénomène aux environs de Morlaix, notamment entre Morlaix et Saint-Pol-de-Léon, où l'orientation de l'ensemble des accidents de cette espèce est assez bien représentée par une ligne tirée de Saint-Pol-de-Léon à Landivisiau, ligne dont le prolongement passe près de Douarnenez, et dont la direction est à peu près S. 20° 30', O.-N. 20° 30' E.

M. Dufrénoy me paraît avoir signalé un autre accident du même système, lorsqu'il a dit dans le troisième chapitre de l'explication de la carte géologique de la France : « L'extrémité O. du » bassin de Rennes appartient encore au terrain cambrien. Nous » sommes, il est vrai, peu certains de la limite qui sépare dans ce » bassin, les deux étages du terrain de transition; mais cepen- » dant nous la croyons peu éloignée d'une ligne qui se diri- » gerait du N. 15 à 20° E., au S. 15 à 20° O., et qui suivrait à » peu près la route de Ploërmel à Dinan. En effet, les terrains » situés à gauche et à droite de cette ligne présentent des carac- » tères essentiellement différents (1). »

Enfin un examen attentif de la carte géologique montre que la classe d'accidents qui nous occupe se dessine à très grands traits dans la structure géologique de la presqu'île de Bretagne, par exemple par la ligne tirée du Cap de la Hagne à Jersey, à Uzel, à Baud, etc., du N. 21° 30' E., au S. 21° 30' O. : par la ligne de Guernesey aux îles Glenan qui est sensiblement parallèle à la précédente, et par la ligne tirée de Barfleur à l'île d'Hoedic, suivant la direction du N. 24° E., au S. 24° O.

La moyenne des différentes directions que je viens de citer est le N. 21° E. Elle peut être rapportée à Morlaix qui est le point dans le voisinage duquel ces mêmes directions se dessinent le plus nettement. — *Morlaix*, lat. 48° 30', long. 6° 10' O., direction N. 21° E.

3° *Normandie*. On peut voir par différents passages du mémoire de M. Puillon-Boblaye sur la constitution géologique de la

(1) Dufrénoy, *Explication de la Carte géologique de la France*, t. 1^{er}, p. 210.

Bretagne, qu'il y avait aperçu cette classe d'accidents en beaucoup de points; mais il les signale surtout dans une région distincte de la précédente et située sur les confins de la Bretagne et de la Normandie, entre Domfront, Vire, Avranches et Fougères, où il a vu régner, sur une étendue de plus de 200 lieues carrées, une formation complexe de granite et de roches maclifères qui en est spécialement affectée. Il mentionne particulièrement le gneiss maclifère de Saint-James, département de la Manche, comme stratifié du N.-N.-E au S.-S.-O. (1). Les accidents de la classe qui nous occupe, tant en Normandie qu'en Bretagne, s'observent seulement dans les terrains qui servent de base au terrain silurien, et sont par conséquent antérieurs au dépôt de ce dernier. — *Saint-James*, lat. $48^{\circ} 34' 18''$, long. $3^{\circ} 39' 34''$ O., direction N. $22^{\circ} 30'$ E.

4° *Limousin*. — Les granites du Limousin forment, au milieu des gneiss, des bandes assez irrégulières qui cependant ont une tendance marquée à se rapprocher de la direction N. 26° E. S. 26° O. Le point central de la région où on les observe se trouve à peu près par 46° de lat. et $40'$ de long. O. de Paris. La formation de ces bandes de granite et de gneiss paraît être très ancienne. — *Limousin*, lat. 46° , long. $0^{\circ} 40'$ O., direction N. 26° E.

5° *Erzgebirge*. Un examen attentif de la belle carte géologique de la Saxe, publiée par MM. Naumann et Cotta, fait distinguer dans l'Erzgebirge quelques traces de dislocations dont la direction est comprise entre le N.-E. et le N.-N.-E. La limite N.-O. du massif de gneiss de Freiberg en est un exemple. D'après M. Naumann, la ligne de séparation des deux roches entre Nossen et Augustusburg se dirige *hora* $3 \frac{3}{8}$ par rapport au méridien magnétique. Cette ligne et toutes celles qui s'en rapprochent par leur direction sont promptement interrompues, comme le sont celles que je viens d'indiquer aux environs de Morlaix. Tout annonce qu'elles ont été croisées par la plupart des autres dislocations qui ont affecté les couches de l'Erzgebirge; elles doivent donc remonter à une époque antérieure au plissement et même au dépôt des couches dévoniennes anciennes (*tilestone fossilifère*) et des couches siluriennes, ce qui les rapproche bien naturellement du redressement des couches du Longmynd.

La direction *hora* $3 \frac{3}{8}$ transformée en degrés devient N. $50^{\circ} 37' 30''$ E., et, corrigée de la déclinaison magnétique qui est à Frei-

(1) Puillon-Boblaye, *Essai sur la configuration et la constitution géologique de la Bretagne*. — *Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. XV, p. 49 (1827).

berg d'environ $16^{\circ} 40'$, vers l'O., elle devient N. $33^{\circ} 57' 30''$ E. Les directions dont je viens de parler peuvent être rapportées à Freiberg, étant observées dans des points de l'Erzgebirge qui n'en sont pas très éloignés. — *Freiberg*, lat. $50^{\circ} 55' 5''$, long. $11^{\circ} 0' 25''$ E., direction N, $33^{\circ} 57' 30''$ E.

6° *Moravie et parties adjacentes de la Bohême et de l'Autriche.* D'après la carte géologique de l'Allemagne, dressée par M. de Buch et publiée par Schropp, et d'après la carte géologique de l'Europe moyenne, publiée par M. de Dechen, le sol de la partie S.-E. de la Bohême et des parties adjacentes de la Moravie et de l'Autriche est formé principalement de zones alternatives de granite et de gneiss, avec calcaire et autres roches subordonnées, qui se dirigent au N. 30 à 35° E.; moyenne, N. $32^{\circ} 30'$ E. Aucune trace de cette série d'accidents ne se prolonge à travers la bande silurienne des environs de Prague, ce qui indique qu'ils sont dus à des phénomènes d'une date antérieure au dépôt du terrain silurien. Les accidents stratigraphiques dont il s'agit s'observent particulièrement près des limites communes des trois provinces, dans une contrée dont le centre est peu éloigné de Zlabings. — *Zlabings*, lat. $48^{\circ} 59' 54''$, long. $13^{\circ} 1' 9''$ E., direction N. $32^{\circ} 30'$ E.

7° *Intérieur de la Suède.* Les terrains anciens de l'intérieur de la Suède, sur lesquels le terrain silurien repose en stratification discordante, présentent beaucoup d'accidents stratigraphiques d'une origine antérieure aux grès et poudingues quartzeux qui constituent la base du terrain silurien. D'après la carte géologique de la Suède publiée par M. Hisinger, ces accidents forment plusieurs groupes dont l'un se dessine fortement dans le voisinage de la ligne tirée de Gotheborg à Gefle, tant par les accidents topographiques que par les contours de certaines masses minérales; et par des masses calcaires lenticulaires qui s'alignent entre elles. Ces accidents stratigraphiques, dont le prolongement méridional passe très près des dépôts siluriens horizontaux du Kinneulle et des collines de Ballingen, sont dus, sans aucun doute, à des phénomènes antérieurs à l'existence du terrain silurien. Les lignes suivant lesquelles ils se dessinent s'éloignent un peu moins du méridien que ne le fait la ligne tirée de Gotheborg à Gefle, qui, vers le milieu de sa longueur, coupe le méridien sous un angle de 42° . Vers le milieu de l'intervalle compris entre ces deux villes, les lignes stratigraphiques courent sensiblement au N. 38° E. — *Milieu de la distance de Gotheborg à Gefle*, lat. $59^{\circ} 11' 44''$, long. $12^{\circ} 12' 42''$ E., direction N. 38° E.

8° *Nord-ouest de la Finlande.* Dans la partie N.-O. de la Finlande, aux environs d'Uleaborg, la côte S.-E. du golfe de Bothnie

se dirige, entre Vasa et Uleaborg, sur une longueur d'environ 300 kilomètres et avec une régularité remarquable, suivant une ligne qui fait avec le méridien d'Uleaborg un angle de $42^{\circ} 1/2$. La côte du golfe de Bothnie est formée, dans cette partie, de roches primitives dont les accidents stratigraphiques paraissent être parallèles à la côte et se prolonger vers le N.-E. jusque dans les montagnes de la Laponie russe. Ces accidents stratigraphiques, de même que la côte dont ils ont déterminé la position, sont eux-mêmes très rapprochés du prolongement de ceux que nous venons de signaler en Suède, entre Gotheborg et Gefle. La direction dont nous nous occupons ne paraît pas se continuer à travers la partie silurienne ou dévonienne ancienne de la Laponie; elle est due, suivant toute apparence, à des phénomènes d'une date antérieure au dépôt du terrain silurien. Je crois donc être fondé à rapporter au système du Longmynd les accidents stratigraphiques dont je viens de parler. — *Uleaborg*, lat. $64^{\circ} 59'$, long. $23^{\circ} 9' 36''$ E, direction N. $42^{\circ} 1/2$ E.

9° *Sud-est de la Finlande*. D'après l'intéressante notice sur la géologie de la Russie que M. Strangways a communiquée en 1821 à la Société géologique de Londres (1), les roches schisteuses de toute la partie méridionale de la Finlande, depuis Abo et les îles de Pargas jusqu'à Viborg, se dirigent en général à peu près au N.-E. Les granites des environs de Viborg sont limités du côté des plaines de Saint-Pétersbourg par une ligne qui court aussi à peu près au N.-E. M. le capitaine Sobloevski dit, dans son intéressant mémoire sur le S.-E. de la Finlande (2), que la direction des gneiss des environs d'Imatra, au milieu desquels est creusé le lit de la célèbre cataracte de la Vokça, à quelques lieues au N. de Viborg, est *presque de quatre heures*, c'est-à-dire presque N. 60° E. par rapport au méridien magnétique. La déclinaison dans cette contrée étant d'environ 8° à l'O, je me crois fondé à conclure qu'une classe importante des accidents stratigraphiques du S.-E. de la Finlande serait assez bien représentée par une ligne passant à Viborg et dirigée vers le N. 50° E. Ces accidents stratigraphiques ne se continuant pas dans les couches siluriennes de la côte méridionale du golfe de Finlande, doivent être antérieurs au dépôt du terrain silurien. — *Viborg*, lat. $60^{\circ} 42' 40''$, long. $26^{\circ} 25' 50''$ E., direction N. 50° E.

(1) W. Strangways, *An outline of the geology of Russia. Transactions of the geological Society of London*, new series, t. I, p. 4.

(2) Sobolevski, *Coup d'œil sur l'ancienne Finlande*, etc.... *Annuaire du Journal des mines de Russie* (1839), p. 447.

40° *Montagnes des Maures et de l'Esterel*. Dans le chapitre sixième de l'explication de la carte géologique de la France, j'ai consigné un assez grand nombre de directions observées dans les roches stratifiées anciennes des montagnes des Maures et de l'Esterel qui bordent la Méditerranée entre Toulon et Antibes (1). J'ai représenté ces observations par une rose des directions qui rend manifeste la tendance qu'ont les couches dont il s'agit à se diriger vers le N.-E., ou plus exactement vers le N. 44° E. (E. 46° N.). Cette direction est comprise parmi celles qu'embrasse la désignation générale *hora* 3-4, mais elle se trouve très rapprochée de leur limite nord, et elle s'éloigne beaucoup de la direction moyenne du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, que nous avons trouvée être au *Binger-Loch* E. 31° 1/2 N., et qui, rapportée à Hyères, devient E. 32° 55' 47" N., et rapportée à Saint-Tropez, E. 32° 33' 58" N. Ces deux dernières orientations se rapprochent beaucoup l'une et l'autre de l'E. 32° 1/2 N., et par conséquent lorsqu'on les compare à la direction E. 46° N. indiquée par la rose des directions, la différence est de plus de 13°.

Ce fait est un des premiers qui m'aient porté à soupçonner que les directions de date très ancienne, comprises dans la désignation générale *hora* 3-4 ou très voisine d'y rentrer, devraient être divisées en plusieurs groupes.

Cette subdivision n'est pas indiquée sur la rose des directions des roches schisteuses anciennes des Maures et de l'Esterel; mais on peut croire que cela tient à l'imperfection de quelques unes des observations dont cette rose offre le tableau. La plupart de ces observations sont exprimées en degrés, cependant quelques unes le sont d'une manière plus générale, telle que N.-E. ou E.-N.-E. Les observations qui sont exprimées de cette manière sont celles qui ont été faites en des points où la direction de la stratification ne pouvait être mesurée avec plus de précision. Des recherches plus suivies les feraient disparaître du tableau, où elles seraient remplacées par des directions cotées en degrés qui ne seraient pas toutes E. 45° N., ou E. 22° 1/2 N., qui pourraient même s'écarter notablement de l'un ou de l'autre de ces deux points de la boussole. Si ce remplacement avait lieu, il est probable que les directions se presseraient en moins grand nombre dans le voisinage de la direction N.-E. Cette direction appauvrie diviserait alors le faisceau

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 467.

en deux groupes, dont l'un se rapprocherait davantage de la direction E.-O., et l'autre de la direction N.-S.

J'ai cherché à effectuer cette décomposition d'une manière approximative pour voir quelle serait à peu près la direction du groupe le moins éloigné de la direction N.-S.

Pour y parvenir j'ai remarqué que la rose des directions en contient 92, comprises entre l'E. 15° N. et l'E. 75° N. inclusive-ment (1). La moyenne de toutes ces directions est égale à $\frac{4275^\circ}{92}$

= 46° 34' 34". J'ai retranché de ces 92 directions toutes celles qui sont comprises entre E. 15° N. et E. 32° 1/2 N., puis un certain nombre de celles qui sont plus éloignées de la ligne E.-O. de manière à ce que la moyenne de toutes les directions retranchées soit environ E. 32° 1/2 N. Après le retranchement de ces directions, au nombre de 33, formant un total de 1075°, le tableau n'en renfermerait plus que 59, formant un total de 3200°, et donnant par leur moyenne la direction E. 54° 14' 14" N., ou N. 35° 45' 46" E., direction qui ne diffère pas de 4° de celle du Longmynd transportée à Saint-Tropez. Cette différence, toute faible qu'elle est, pourrait encore être atténuée. En effet, la division du groupe total des directions voisines du N.-E. en deux faisceaux, dont l'un donne à peu près pour moyenne la direction E. 32° 1/2 N., est un problème d'analyse indéterminée qui peut être résolu de plusieurs manières. Il est aisé de voir que parmi toutes les divisions que comporte le groupe de directions voisines de N.-E. constitué comme il est sur la rose des directions, j'ai adopté celle qui donnait pour le second faisceau la direction la moins éloignée de la ligne N.-S. Mais si le remplacement du petit groupe de directions rapportées exactement au N.-E. était effectué, ainsi que je l'ai indiqué, il existerait d'autres solutions, et dans celle que l'on obtiendrait en suivant la marche suivie ci-dessus, le faisceau septentrional se rapprocherait un peu plus encore de la ligne N.-S. que dans la solution que j'ai obtenue, de sorte que la différence, 4°, toute faible qu'elle est, se trouverait encore atténuée.

Si les deux faisceaux dans lesquels on peut ainsi diviser les directions des roches stratifiées anciennes des Maures et de l'Esterel correspondent à des phénomènes de dates différentes, il est évident que le plus moderne est celui qui se rapproche le plus de la

(1) *Explication de la carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 467.

ligne E.-O., car on observe particulièrement des directions de ce groupe aux environs d'Hyères et dans la presqu'île de Giens, où les roches schisteuses, quartzieuses et calcaires, paraissent appartenir au terrain silurien ou au terrain dévonien ancien (*tilestone*). Les directions, plus rapprochées de la ligne N.-S., s'observent au contraire plus particulièrement dans les micaschistes et les gneiss du reste du massif des Maures, ce qui semble indiquer qu'elles sont dues à des phénomènes plus anciens. Tout conduit ainsi à les rapprocher de celles de Longmynd et des autres localités que nous venons de parcourir. On peut rapporter ces directions à Saint-Tropez, comme à un point suffisamment central, relativement à ceux où elles ont été observées. On a ainsi pour représenter les directions qui nous occupent dans les montagnes des Maures et de l'Esterel. — *Saint-Tropez*, lat. $43^{\circ} 16' 27''$ long. $4^{\circ} 18' 29''$ E., direction, N. $35^{\circ} 45' 46''$ E.

Les dix contrées dans lesquelles nous venons de suivre des lignes stratigraphiques que je crois pouvoir rapporter au système *Longmynd* sont réparties dans diverses parties de l'Europe situées les unes à l'O., les autres à l'E., quelques unes beaucoup au N. et les dernières au S. du *Binger-Loch*. Ce dernier point, qui nous a déjà servi de *centre de réduction* pour le système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, remplit encore assez bien les conditions de point central par rapport au nouveau groupe d'observations que nous élaborons. En conséquence nous prendrons le *Binger-Loch* pour *centre de réduction* du système de *Longmynd*.

En suivant la même marche que précédemment nous formerons le tableau suivant :

1° Church-Stretton.	N. 25°	»	»	+	8° 21' 18''	—	ε . E.
2° Morlaix.	N. 21	»	»	+	8 50 40	—	ε . E.
3° Saint-James.	N. 22 30	»	»	+	7 5 55	—	ε . E.
4° Limousin.	N. 26	»	»	+	7 56 52	—	ε . E.
5° Freiberg.	N. 33 57 30	—	4 1 16	—	ε . E.		
6° Zlabings.	N. 32 30	»	—	5 42 53	—	ε . E.	
7° Milieu de la distance de Gothembourg à Gelfe.	N. 38	»	»	—	5 32 56	+	ε . E.
8° Uleaborg.	N. 42 30	»	—	14 57 6	+	ε . E.	
9° Viborg.	N. 50	»	»	—	17 14 48	—	ε . E.
10° St-Tropez.	N. 35 45 46	+	»	51 58	+	ε . E.	
Somme.	327° 13' 16''	—	14° 22' 16''	+	Σ ± ε		

En réduisant complètement la somme des données consignées dans ce tableau, elle devient $312^{\circ} 51' + \Sigma \pm \epsilon$, et en divisant cette somme par 10, nombre des directions partielles, on a pour la direction moyenne du système de *Longmynd*, rapportée au *Binger-*

Loch N. $31^{\circ} 17' 6'' + \frac{\Sigma \pm \epsilon}{10}$. Dans cette expression il ne reste plus d'indéterminé que $\Sigma \pm \epsilon$, c'est-à-dire la somme des corrections dues aux excès sphériques de certains triangles rectangles dont j'ai déjà indiqué plusieurs fois les éléments.

Le *Binger-Loch* est placé presque aussi heureusement par rapport aux observations que nous discutons actuellement, comme déterminant le *système de Longmynd*, que par rapport à celles discutées ci-dessus pour déterminer le *système du Westmoreland et du Hundsrück*. Il se trouve peu éloigné du prolongement direct des directions signalées en Suède et dans le N.-O. de la Finlande, de manière que bien que les points où ces directions s'observent soient fort éloignés du *Binger-Loch*, les *excès sphériques* qui leur correspondent sont peu considérables; ceux qui se rapportent aux autres points d'observation sont également assez petits. Au moyen de constructions exécutées sur la carte et du tableau de la page 898, on trouve :

Pour Church-Stretton,	$b = 796$ kil.,	$A = 82^{\circ} 1/2$,	$\epsilon = 3'$;
Pour Morlaix,	$b = 806$ kil.,	$A = 54^{\circ}$,	$\epsilon = 13'$;
Pour Saint-James,	$b = 680$ kil.,	$A = 52^{\circ}$,	$\epsilon = 9'$;
Pour le Limousin,	$b = 490$ kil.,	$A = 17^{\circ} 1/4$,	$\epsilon = 3'$;
Pour Freiberg,	$b = 410$ kil.,	$A = 44^{\circ}$,	$\epsilon = 3'$;
Pour Zlabings,	$b = 556$ kil.,	$A = 71^{\circ} 1/2$,	$\epsilon = 4'$;
Pour la Suède,	$b = 1110$ kil.,	$A = 11^{\circ}$,	$\epsilon = 9'$;
Pour Uleaborg,	$b = 1980$ kil.,	$A = 2^{\circ} 25'$,	$\epsilon = 7'$;
Pour Viborg,	$b = 1780$ kil.,	$A = 6^{\circ} 30'$,	$\epsilon = 15'$;
Pour Saint-Tropez,	$b = 450$ kil.,	$A = 29^{\circ}$,	$\epsilon = 10'$.

En ayant égard au signe avec lequel chacun de ces *excès sphériques* doit être pris, on trouve $\Sigma \pm \epsilon = -24'$, et par suite $\frac{\Sigma \pm \epsilon}{10} = -2' 24''$. Cette valeur est à peu près négligeable; nous nous bornerons, pour y avoir égard, à diminuer de $2' 6''$ la moyenne ci-dessus et nous adopterons, comme étant nombres ronds, la moyenne la plus correcte possible de toutes les observations que nous avons considérées rapportées au *Binger-Loch* N. $31^{\circ} 15' E$. Nous avons trouvé pour la direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, rapportée au même point E. $31^{\circ} 1/2 N$., direction qui revient à N. $58^{\circ} 1/2 E$. Ces deux directions diffèrent de $27^{\circ} 15'$. On voit qu'elles sont parfaitement distinctes l'une de l'autre.

Il nous reste à examiner comment la direction moyenne du *système de Longmynd* s'accorde avec les directions partielles que

nous avons combinées. Pour cela nous n'avons qu'à la transporter du *Binger-Loch*, auquel elle se rapporte, dans chacun des points d'observation. A la rigueur, pour exécuter ce calcul, il faudrait déterminer de nouveau l'*excès sphérique* relatif à chaque point, non d'après la direction observée en ce point, mais d'après la direction moyenne adoptée pour le Binger-Loch. Toutefois, comme les corrections qui résulteraient de ce nouveau calcul seraient en somme fort peu considérables, je les néglige; et en me servant des valeurs de ϵ déjà employées, je forme le tableau suivant :

	Direction		
	calculée.	observée.	Différence.
Church-Stretton.	N. 22° 56' 42" E.	25° » »	+ 2° 3' 18"
Morlaix.	N. 22 37 20 E.	21 » »	— 1 37 20
Saint-James.	N. 24 18 5 E.	22 30 »	— 1 48 5
Limousin.	N. 23 21 8 E.	26 » »	+ 2 38 52
Freiberg.	N. 35 19 16 E.	33 57 30	— 1 21 46
Zlabings.	N. 37 6 53 E.	32 30 »	— 4 31 53
Milieu de la distance entre Gotheborg et Gefle.	N. 36 38 56 E.	38 » »	+ 1 21 4
Uleaborg.	N. 46 5 6 E.	42 30 »	— 3 35 6
Viborg.	N. 48 44 48 E.	50 » »	+ 1 15 12
St-Tropez.	N. 30 13 2 E.	35 45 46	+ 5 32 44
			— »° 3' »"

La dernière colonne de ce tableau donne, toute réduction faite, une somme égale à — 3'. Il est aisé de voir, en effet, qu'en négligeant $2' 24'' - 2' 6'' = 18''$ dans l'expression de la direction moyenne rapportée au Binger-Loch, nous avons dû rendre trop faible de 10 fois $18''$ et de $180'' = 3'$ la somme des expressions des huit directions calculées. L'opération est donc correcte.

Elle fait voir que pour sept des dix points que nous avons considérés, l'accord entre la direction calculée et la direction observée est très satisfaisant, les différences entre les directions observées et les directions calculées étant de moins de 3°. Pour les trois autres points, les différences entre les directions observées et calculées sont plus considérables. Pour Zlabings la différence est de plus de $4^{\circ} 4\frac{1}{2}$; mais il est à remarquer que les contours des masses de granite et de gneiss du S.-E. de la Bohême ne sont ni rectilignes ni très bien définies. On peut en dire autant de celles du N.-O. de la Finlande, où la différence est de $3^{\circ} 35' 6''$; ces dernières sont d'ailleurs imparfaitement connues. Quant aux directions rapportées à St-Tropez, où la différence est de $5^{\circ} 32', 44''$, nous avons vu que ce n'a été qu'après une discussion qui a laissé quelque incertitude que nous

avons pu les dégager des autres directions qui sont comprises dans la rose des directions des Maures et de l'Esterel. Les différences que nous venons de remarquer n'ont donc rien qui doive surprendre, et il est à remarquer que les trois différences les plus considérables, — $4^{\circ} 36' 53''$, — $3^{\circ} 35' 6''$, + $5^{\circ} 37' 44''$, étant affectées de signes différents, tendent à se compenser; leur somme est — $2^{\circ} 34' 15''$, ou — $154' 15''$; et il est aisé de voir qu'en n'ayant pas égard aux observations auxquelles elles correspondent, on aurait trouvé un résultat différent de celui auquel nous nous sommes arrêtés, de $15'$ seulement, c'est-à-dire la direction moyenne N. 30° E. environ; or la suppression de l'une quelconque des autres observations aurait produit une variation à peu près du même ordre.

Il me paraît difficile de ne pas admettre, en dernière analyse, que ces dix directions appartiennent à un même système, dont la direction, rapportée au *Binger-Loch*, est représentée le plus correctement possible par une ligne dirigée au N. $30^{\circ} 15'$ E. Cette ligne qui fait avec le méridien du *Binger-Loch* un angle de $30^{\circ} 15'$ vers l'E. est la *tangente directrice* du système. Pour déterminer complètement ce système, il nous resterait à calculer, ainsi qu'il a été dit dans la première partie de cette note, l'angle équatorial E.; mais le calcul serait encore moins exécutable pour le système du *Longmynd* que celui du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, à l'égard duquel nous y avons renoncé par les motifs énoncés page 929. Nous serons donc réduits à nous en tenir, provisoirement au moins, à la *supposition* employée dans les calculs précédents, c'est-à-dire que le grand cercle qui passe par le *Binger-Loch* en faisant avec le méridien un angle de $30^{\circ} 15'$ vers le N.-E., est l'équateur ou le *grand cercle de comparaison du système du Longmynd*. Cette supposition est destinée sans doute à une rectification ultérieure; mais il me paraît fort probable que le véritable équateur du système du *Longmynd* n'est pas fort éloigné du grand cercle dont nous venons de parler. En effet, ce dernier laisse la Moravie et la Bretagne à des distances peu différentes l'une de l'autre; il passe entre la Suède et la Finlande, où les accidents du système du *Longmynd* jouent un rôle si proéminent, et, indépendamment des directions dont nous avons pris la moyenne, on en trouve dans les contrées qu'il traverse, qui paraissent devoir lui être rapportées comme celles des gneiss de Sainte-Marie-aux-Mines et celles de beaucoup d'accidents stratigraphiques plus modernes, mais dus à l'influence du sol sous-jacent, des couches de l'Eifel, du *Hundsrück*, de l'*Idar-Wald*, etc.....

D'après ce que nous avons vu de la structure de chacune des contrées où ont été observées les directions que nous avons fait entrer dans le calcul, il est clair que toutes les dislocations auxquelles ces directions se rapportent sont dues à des phénomènes très anciens et antérieurs au dépôt du terrain silurien; et je crois qu'on peut considérer la formation du *système du Longmynd* comme ayant marqué le commencement de la *période silurienne*.

Mais ce système de dislocations n'est pas le plus ancien de ceux dont on observe les traces en Europe d'une manière distincte, et la période silurienne n'est pas la plus ancienne de celles dont on y retrouve les dépôts. Je crois qu'on peut essayer dès aujourd'hui d'esquisser quelques traits de l'histoire *anté-silurienne*. Il nous suffira, pour en trouver un très marqué, d'essayer de déterminer l'âge relatif de la partie des dislocations comprises dans la désignation générale *hora 3-4* que nous n'avons pas employée dans les calculs qui précèdent.

Lorsqu'on ne pouvait encore indiquer la direction des dislocations des couches les plus anciennes que par la désignation générale que je viens de rappeler, et lorsque l'âge précis d'une grande partie de ces couches était encore indéterminé, on était réduit à composer de toutes les dislocations dont il s'agit un seul faisceau, dont l'analogie conduisait à penser que l'âge relatif serait le même que l'âge de celles qui en auraient un bien déterminé. Mais le progrès des observations permettant aujourd'hui de procéder à une analyse plus exacte, on peut distinguer dans cet immense faisceau *trois directions et trois âges*.

Nous en avons déjà extrait le *système du Westmoreland et du Hundsrück*, que nous avons mis à sa véritable place, immédiatement avant le dépôt du vieux grès rouge proprement dit : nous venons d'en séparer également le *système du Longmynd*, que nous avons placé avant le dépôt du terrain silurien; mais il nous reste encore un groupe assez nombreux de directions plus rapprochées de la ligne E.-O. que celles du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, et en même temps plus anciennes, car elles sont antérieures au dépôt du terrain silurien. Je veux parler surtout des directions des roches schisteuses les plus anciennes de la presqu'île de Bretagne.

Je les ai mentionnées dans l'extrait de mes recherches, consigné dans la traduction française du Manuel géologique de M. de La Bèche, et dans le Traité de géognosie de M. Daubuisson (1),

(1) *Manuel géologique*, p. 625 — *Traité de géognosie*, t. III, p. 300.

comme l'un des types des dislocations *hora* 3-4 antérieures au dépôt des terrains de transition modernes de la Bretagne, qu'on sait aujourd'hui être siluriens et dévoniens. C'est frappés de leur constance et de l'évidence de leur âge relatif que nous avons cru, M. Dufrénoy et moi, devoir, dans le premier volume de l'explication de la carte géologique, indiquer l'E. 25° N. comme la direction du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, indication qui a été reproduite par M. Beudant dans sa *Géologie élémentaire*, et par M. de Collegno dans ses *Elementi di geologia*.

Cette direction, qui, en raison surtout de ce qu'elle s'observe dans une contrée aussi occidentale que la Bretagne, diffère beaucoup de celle du système du *Westmoreland* et du *Hundsrück*, telle que nous l'avons précisée ci-dessus, est celle d'un système particulier, antérieur au terrain silurien, que je propose de nommer système du *Finistère*, en raison du rôle important et bien distinct qu'il joue dans la constitution du département de ce nom.

Je vais d'abord rappeler les observations faites dans la presqu'île de Bretagne, et dans le Bocage de la Normandie, sur lesquelles repose l'établissement de ce système. Je signalerai ensuite, dans d'autres parties de l'Europe, certaines dislocations qui me paraissent devoir s'y rapporter. Je chercherai enfin à fixer son âge relativement au système du *Longmynd*, qui est lui-même antérieur au terrain silurien.

Dans le chapitre III de l'explication de la carte géologique de la France, M. Dufrénoy partage les terrains de transition de la presqu'île de Bretagne en deux grandes divisions, dont l'inférieure est désignée sous le nom de *terrain cambrien*, et la supérieure comprend le *terrain silurien* et le *terrain dévonien*. « Les couches » du *terrain cambrien*, dit-il, généralement inclinées à l'horizon » de 70 à 80°, sont orientées de l'E. 20° N., à l'O. 20° S. Elles » ont été placées dans cette position par le soulèvement du granite » à grains fins (1). »

Cette direction se rapporte surtout à la partie centrale de la Bretagne, notamment à la route de Ploërmel à Dinan. Dans la partie occidentale les directions s'éloignent un peu plus de la ligne E.-O. Dans le Bocage de la Normandie, et dans le département de la Manche, elles s'en rapprochent, au contraire, davantage.

« Près du cap de la Hague, dit M. Dufrénoy, au contact de la » syénite, le schiste qui forme la côte d'Omonville est talqueux ;

(1) Dufrénoy, *Explication de la Carte géologique de la France*, chap. III, t. I^{er}, p. 208.

» il contient de petits cristaux d'amphibole disposés dans le sens
 » de la stratification. Les couches de ce schiste plongent N. 16° O.
 » et se dirigent E. 16° N., presque exactement suivant la ligne de
 » dislocation propre au terrain cambrien..... Dans les carrières
 » d'Equedreville, près de Cherbourg, les couches du schiste se
 » dirigent à l'E. 18° N. et plongent de 75° degrés vers le N. (1).
 » Aux environs de Saint-Lô, la direction générale des schistes
 » est à l'E. 20° N. (2). Au pont de la Graverie, on exploite plu-
 » sieurs carrières dans un schiste bleuâtre et satiné, dont la stra-
 » tification est dirigée à l'E. 18° N. avec une inclinaison de 80° (3).»

Dans la pointe occidentale de la presqu'île, les roches schisteuses anciennes sont toutes affectées de la direction E. 20 à 25° N., qui est la même que celle dont nous venons de parler, modifiée par l'effet de la différence de longitude. Cette direction se montre surtout d'une manière très prononcée dans les micaschistes et les gneiss qui forment le sol de la ville de Brest et d'une grande partie de la large pointe comprise entre la rade de Brest et l'île de Bas. M. Puillon-Boblaye avait déjà été frappé de ce fait, que dans la région dont je viens de parler, la stratification, quoique rapprochée de la direction N.-E. S.-O., n'est plus la même que dans les autres parties de la Bretagne, où il l'indique comme comprise entre le N.-E. et le N.-N.-E.; je trouve la trace de cette remarque, qu'il m'avait communiquée de vive voix, dans les expressions suivantes de son mémoire, déjà cité: Des côtes de la Manche à Landerneau, la direction des strates est *dans le sens* du N.-E. au S.-O. (4). La direction E. 20 à 25° N. se retrouve encore dans les schistes micacés et chloritiques qui font partie de la pointe méridionale entre Gourin et Quimper.

Dans le Bocage de la Normandie, ainsi qu'en beaucoup de points de la Bretagne, notamment au pied méridional de la Montagne-Noire près de Gourin, les premières assises du terrain silurien sont superposées en stratification discordante sur les tranches des couches plus anciennes redressées par les dislocations dont nous venons de parler. M. Lefebure de Fourcy, ingénieur au Corps royal

(1) Dufrénoy, *Explication de la Carte géologique de la France*, chap. III, t. I^{er}, p. 212.

(2) *Ibid.*, p. 213.

(3) *Ibid.*, p. 214.

(4) Puillon-Boblaye, *Essai sur la configuration et la constitution géologique de la Bretagne. Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. XV, p. 66. (1827.)

des mines, dans sa *Description géologique du département du Finistère*, cite aussi une superposition semblable sur le rivage méridional du Goulet de Brest, depuis la pointe des Espagnols jusque près de Kerjean, et sur la rive méridionale de la rivière de Lanterneau.

La direction E. 20 à 25° N. des schistes les plus anciens se reproduit aussi quelquefois dans les couches siluriennes. M. L. Frapolli cite de nombreux exemples de ce fait dans son excellent mémoire *Sur la disposition du terrain silurien dans le Finistère et principalement dans la rade de Brest* (1). Mais ces directions que les couches siluriennes ne conservent pas sur de grandes longueurs ne sont probablement que des reproductions accidentelles de celles des couches inférieures, reproductions dont j'ai depuis longtemps cité un exemple frappant dans les couches dévoniennes et carbonifères de la Belgique où reparait souvent la direction naturelle du terrain ardoisier (2). M. L. Frapolli dit, avec beaucoup de raison, je crois, que « ces directions anormales qu'affecte » le terrain silurien du nord du Finistère sont une des meilleures » preuves de la présence du terrain cambrien au-dessous des grès » qui forment la base du premier ; elles sont l'effet de cette présence ; elles n'existeraient pas sans cela (3). »

Les directions que je viens de citer concordent ensemble d'une manière extrêmement remarquable. Pour s'en convaincre il suffit de les rapporter toutes à un même point, par exemple à Brest, pris comme centre de réduction. En transportant toutes ces directions à Brest, sans tenir compte de l'*excès sphérique* qui ne donnerait ici que des corrections insignifiantes, nous formerons le tableau suivant :

Brest.	E. 20 à 25°	N.
Ile d'Ouessant. . . .	E. 25 à 30 — » 25' 15" . .	N.
Ploërmel.	E. 20 + 1 33 26 . .	N.
Omonville.	E. 16 + 1 54 » . .	N.
Équendreville. . . .	E. 18 + 2 9 13 . .	N.
St-Lo.	E. 20 + 2 32 44 . .	N.
Pont de la Graverie. .	E. 18 + 2 32 44 . .	N.

En faisant la somme on trouve 137° à 147° + 10° 16' 52'', qui

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. II, p. 517.

(2) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe. Manuel géologique*, p. 632. *Traité de géognosie*, t. III, p. 314.

(3) L. Frapolli, *Bulletin*, ... p. 561.

se réduisent en moyenne à $452^{\circ} 16' 52''$. En divisant par 7 nombre des points d'observation on a pour la direction moyenne du système du Finistère rapportée à Brest, E. $21^{\circ} 45' 16''$ N.

Dans l'Introduction de l'explication de la carte géologique de la France, t. I, p. 60, nous avons indiqué, M. Dufrénoy et moi, la direction E. 25° N., qui s'éloigne un peu plus de la ligne E.-O., mais nous comprenions dans le groupe de directions, dont nous cherchions à donner la moyenne, celle des schistes des environs de Saint-Malo et de Cancale qui me paraissent maintenant se rapporter à un autre système.

Cette direction cadre avec les observations d'une manière qui devra paraître satisfaisante, si l'on remarque surtout combien de bouleversements ont affecté le sol de la Bretagne, après celui dont le système du Finistère est la trace. Pour s'assurer de cet accord il suffit de reporter la direction obtenue à chacun des points d'observation, et de la comparer à la direction observée. On forme ainsi le tableau suivant :

	Direction		
	calculée.	observée.	Différence.
Ile d'Ouessant.	E. $22^{\circ} 10' 31''$ N.	$27^{\circ} 30'$	+ $5^{\circ} 19' 29''$
Brest.	E. $21^{\circ} 45' 16''$ N.	$22^{\circ} 30'$	+ $0^{\circ} 44' 44''$
Ploërmel.	E. $20^{\circ} 11' 50''$ N.	20° »	- $0^{\circ} 11' 50''$
Omonville.	E. $19^{\circ} 51' 16''$ N.	16° »	- $3^{\circ} 51' 16''$
Équeudreville.	E. $19^{\circ} 36' 3''$ N.	18° »	- $1^{\circ} 36' 3''$
St-Lo.	E. $19^{\circ} 12' 32''$ N.	20° »	+ $0^{\circ} 47' 28''$
Pont de la Graverie.	E. $19^{\circ} 12' 32''$ N.	18° »	- $1^{\circ} 12' 32''$
			$0^{\circ} 0' 0''$

Les seules divergences un peu notables sont celles de l'île d'Ouessant et d'Omonville; or, il est à remarquer que l'une et l'autre ont été observées dans le voisinage de grandes masses éruptives, d'une part les granites qui forment la plus grande partie de l'île d'Ouessant, de l'autre la syénite du cap de la Hague; or, on sait que ce n'est pas dans le voisinage de pareilles masses qu'on rencontre le plus ordinairement des directions parfaitement régulières.

On peut donc regarder la direction E. $21^{\circ} 45' 16''$ N., ou en négligeant les secondes, E. $21^{\circ} 45'$ N. comme représentant à Brest le système du Finistère; ce serait celle de la tangente directrice du système menée par Brest.

Le système du Finistère ne se montre pas uniquement en Bretagne et en Normandie. Un examen attentif des cartes géologiques d'une grande partie de l'Europe, permet d'y en découvrir

des traces qui, à la vérité, sont peu suivies à cause des nombreuses dislocations subséquentes qui les ont en partie effacées.

Je citerai particulièrement la Suède et le midi de la Finlande.

La direction E. $21^{\circ} 45' N.$, qui représente à Brest le *système du Finistère*, étant prolongée suffisamment, passerait un peu au midi de la Suède et de la Finlande. On trouve dans le tableau de la page 881, que la différence des angles alternes internes formés par la plus courte distance de Brest à Stockholm avec les méridiens de ces deux villes est de $18^{\circ} 21' 32''$; entre Brest et Viborg, la même différence est de $27^{\circ} 29' 40''$; pour Brest et Gotheborg la différence est de $13^{\circ} 1' 40''$. De là il résulte qu'en tenant compte de l'excès sphérique calculé comme si le grand cercle qui passe à Brest, en se dirigeant à l'E. $21^{\circ} 45' N.$, était le *grand cercle de comparaison* du système, la direction du *système du Finistère* transportée à Gotheborg est E. $9^{\circ} 23' N.$, et à Stockholm E. $4^{\circ} 21' N.$ La même direction transportée à Viborg est E. $4^{\circ} 9' S.$ Dans le milieu de la Suède, près des lacs Wenern, Wetteren, Hjelmaren, cette direction serait environ E. $7^{\circ} N.$ Dans le milieu de la côte méridionale de la Finlande, entre Abo et Friedriksvern, elle s'éloignerait peu de la ligne E.-O.

Or, si l'on examine avec attention la belle carte géologique de la Suède, publiée par M. Hisinger, on verra que dans la partie centrale de ce pays, entre Gotheborg et Upsal, il existe en effet dans les masses de roches anciennes sur lesquelles le terrain silurien est déposé en stratification discordante, un grand nombre de dislocations et de lignes stratigraphiques dirigées à l'E. quelques degrés nord.

Tout annonce que le midi de la Finlande avait été fortement disloqué avant le dépôt du terrain silurien qui forme la côte méridionale du golfe de Finlande, et qui n'a éprouvé depuis son dépôt que de faibles dérangements dont nous nous sommes déjà occupés. Les roches anciennes du midi de la Finlande présentent différentes lignes stratigraphiques dirigées à peu près N.-E. S.-O., que nous avons rapportées au *système de Longmynd*; mais leur direction diffère essentiellement de celle de la côte dont elles ne déterminent que les découpures. Celle-ci doit se rapporter à une autre série d'accidents stratigraphiques qui ne peuvent être que fort anciens, car tout annonce que les roches cristallines de la Finlande étaient émergées dès le commencement de la période silurienne et qu'elles ont formé la côte septentrionale de la mer dans laquelle s'est déposé le terrain silurien de l'Estonie. Enfin on peut remarquer que la partie méridionale de la Finlande renferme

une zone dirigée à peu près de l'E. à l'O. dans laquelle sont disséminées un grand nombre de localités célèbres par la présence de différents minéraux cristallisés d'origine éruptive et que cette bande paraît être le prolongement de celle qui traverse la Suède suivant la direction que je viens de signaler ; or, ni en Suède, ni dans les parties de la Russie contiguës à la Finlande, ces gîtes de minéraux ne se prolongent dans le terrain silurien. Tout annonce donc qu'ils ont été produits avant le dépôt de ce terrain et que les accidents que présente la zone dont nous parlons appartiennent, par leur âge et par leur direction, au *système du Finistère*.

Il sera peut-être également possible de reconnaître le *système du Finistère* dans le sol fondamental des Pyrénées et de la Catalogne. La direction du *système du Finistère* transportée dans un point de la partie méridionale du département de l'Arriège, situé par $42^{\circ} 40'$ de lat. N. et par 1° de long. O. de Paris, en calculant l'*excès sphérique* comme si Brest se trouvait sur le grand cercle de comparaison du système, se réduit à E. $17^{\circ} 26' 37''$ E. La direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, qui est au Binger-Loch E. $31^{\circ} \frac{1}{2}$ N., étant transportée de même au même point des Pyrénées, devient en ayant égard à la légère correction additive que donne la considération de l'*excès sphérique* E. $36^{\circ} 27'$ N. Or, ni l'une ni l'autre de ces deux directions ne paraît coïncider avec la direction *moyenne* des roches schisteuses anciennes des Pyrénées. M. Durocher, dans son intéressant *Essai sur la classification du terrain de transition des Pyrénées* (1), indique d'une manière générale la direction E.-N.-E. comme propre aux roches stratifiées les plus anciennes des Pyrénées ; mais dans les nombreuses mesures de direction qu'il a soin de rapporter, on voit que les directions des roches dont il s'agit oscillent dans l'intervalle compris entre l'E. et l'E. 40° N., et que très souvent elles se rapprochent soit de l'E. 30 à 35° N., soit de l'E. 15 à 20° N., c'est-à-dire de deux directions peu éloignées, l'une de celle du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, l'autre de celle du *système du Finistère*. M. Durocher compare ces directions à celles des roches schisteuses anciennes de la Bretagne, et il me paraîtrait fort possible que dans les Pyrénées comme en Bretagne les directions dont nous parlons dussent être divisées en deux groupes appartenant aux deux systèmes dont je viens de parler. C'est, au reste, une question que je me permettrai de signaler à l'attention de M. Durocher

(1) *Annales des mines*, 4^e série ; t. VI, p. 15.

qui a exploré les deux contrées avec tant de soin et de persévérance.

La direction du *système du Finistère*, transportée dans les montagnes des Maures et en Corse, en tenant compte de l'excès sphérique calculé comme si le grand cercle qui passe à Brest, en se dirigeant à l'E. $21^{\circ} 45' N.$, était le grand cercle de comparaison du *système*, devient, pour Hyères, E. $13^{\circ} 46' N.$, et pour Ajaccio, E. $11^{\circ} 42' N.$ Elle s'éloigne beaucoup des directions qu'on y observe le plus habituellement dans les roches stratifiées anciennes. Si ces roches présentent quelques orientations qui se rapportent réellement au *système du Finistère*, elles doivent y être peu nombreuses. Peut-être serait-on plus heureux en recherchant cette même direction, soit dans les roches schisteuses anciennes des côtes de l'Algérie, soit au centre de l'Espagne dans celles des montagnes de Guadarrama.

La même direction, transportée dans l'Ardenne, à Monthermé, en observant que pour ce point la correction due à l'excès sphérique serait complètement insignifiante, devient E. $14^{\circ} 48' N.$ Elle s'écarte de $10^{\circ} 12'$ de la direction moyenne E. $25^{\circ} N.$ des couches ardoisières de cette contrée, tandis que celle-ci ne s'éloigne que de $8^{\circ} 53' 6''$ de la direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück*; ce qui prouve que l'anomalie signalée ci-dessus, dans la direction des couches ardoisières des bords de la Meuse, ne se rattache pas, comme on aurait pu le croire au premier abord, au *système du Finistère*.

La direction du *système du Finistère*, transportée au *Binger-Loch*, devient E. $11^{\circ} 35' N.$ Elle diffère par conséquent de 20° environ de celle du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, qui est pour le *Binger-Loch* E. $31^{\circ} 1/2 N.$, et de plus de 47° de celle du *système du Longmynd*, qui, rapportée au même point, est N. $31^{\circ} 15' E.$ ou E. $58^{\circ} 45' E.$

La comparaison de ces trois directions rapportées à un seul et même point montre que les trois systèmes dont nous parlons sont parfaitement distincts l'un de l'autre sous le rapport de leur direction; mais nous ne les avons pas encore rendus complètement distincts sous le rapport de leur âge relatif. Nous avons vu que le *système du Longmynd* et le *système du Finistère* sont antérieurs l'un et l'autre au terrain silurien auquel le *système du Westmoreland et du Hundsrück* est au contraire postérieur. Il reste à déterminer quel rapport d'âge les deux premiers ont entre eux.

Quant à présent, je ne connais pas encore de terrain sédimentaire dont je pusse affirmer qu'il a été déposé sur les tranches des cou-

ches redressées de l'un des systèmes, et que ses propres couches ont été redressées par l'autre. Je ne puis donc déterminer le rapport d'âge des deux systèmes par le moyen ordinaire et le plus direct, mais je crois qu'on peut y parvenir par l'application des remarques suivantes, que M. de Humboldt a consignées dans le premier volume du *Cosmos*.

« La ligne de faite des couches relevées n'est pas toujours parallèle à l'axe de la chaîne de montagnes; elle coupe aussi quelquefois cet axe, et il en résulte, à mon avis, que le phénomène du redressement des couches, dont on peut suivre assez loin la trace dans les plaines voisines, est alors plus ancien que le soulèvement de la chaîne (1). » M. de Humboldt a souvent appelé l'attention sur ce point aussi important que délicat de la théorie des soulèvements. *Asie centrale*, t. I, p. 277-283. *Essai sur le gisement des roches*, 1822, p. 27. *Relat. hist.*, t. III, p. 244-250.

Or, il me paraît qu'en certains points de la Bretagne, dont j'ai déjà parlé des couches redressées suivant le système du Finistère, ont été soulevées de manière à constituer une arête appartenant par sa direction au système de Longmynd, et antérieure comme ce système au terrain silurien. Je le conclus des observations suivantes que M. Dufrénoy a consignées dans le premier volume de l'explication de la carte géologique de la France, et dont j'ai déjà rappelé une partie précédemment.

« L'extrémité O. du bassin de Rennes appartient encore au terrain cambrien. Nous sommes, il est vrai, peu certains de la limite qui sépare, dans ce bassin, les deux étages des terrains de transition; mais cependant nous la croyons peu éloignée d'une ligne qui se dirigerait du N. 15 à 20° E. au S. 15 à 20° O., et qui suivrait à peu près la route de Ploërmel à Dinan. En effet, les terrains situés à gauche et à droite de cette ligne présentent des caractères essentiellement différents: cette circonstance serait impossible si elle ne résultait pas de leur différence de nature, attendu que, la stratification étant généralement de l'E. à l'O., on devrait retrouver, sur la route de Ploërmel à Dinan, les mêmes couches traversées par celle de Nantes à Rennes; mais il n'en est point ainsi: en effet, les couches de grès, si fréquentes et si caractéristiques dans le terrain silurien, qui forme tout le pays à l'E. de la ligne que je viens d'indiquer, ne se retrouvent pas, au contraire, dans la partie O. de ce bassin, que nous avons coloriée comme appartenant au terrain cambrien. Les schistes

(1) A. de Humboldt, *Cosmos*, t. I^{er}, traduction française, p. 352.

» eux-mêmes, entre Corlay et Josselin, c'est-à-dire dans toute
 » l'épaisseur de cette partie inférieure, possèdent des caractères
 » très différents de ceux des environs de Rennes ; ils sont, en effet ,
 » bleuâtres et satinés, tandis que les schistes entre Rennes et
 » Nantes sont de véritables grauwwacks schisteuses. Enfin la direc-
 » tion des couches confirme cette distinction. A l'O. de la limite
 » que nous avons assignée pour les deux terrains de transition, les
 » couches se dirigent constamment de l'E. 20° N. à l'O. 20° S.,
 » tandis que les schistes qui sont à droite de cette ligne sont
 » orientés de l'E. 10 à 15° S., à l'O. 10 à 15° N. Ces deux directions
 » sont précisément celles qui caractérisèrent les terrains cambrien
 » et silurien (1). »

Ces schistes satinés dirigés à l'E. 20° N. appartiennent, par le redressement de leurs couches, au *système du Finistère*, et ils ont été soulevés pour former une protubérance ou une crête dirigée vers le N. 20° E., qui a constitué la limite occidentale du bassin silurien de Rennes. Cette crête appartient par sa direction au *système de Longmynd*. On voit donc que le *système de Longmynd* est POSTÉRIEUR au *système du Finistère*.

On arrive à la même conclusion en observant comment les dislocations dépendantes du *système de Longmynd*, qui se trouvent aux environs de Morlaix, accidentent les couches de roches schisteuses redressées suivant le *système du Finistère*.

Les trois systèmes dont nous venons de parler, tous les trois fort anciens et tous les trois dirigés de manière à être compris dans la désignation générale *hora 3 4* ou à ne s'en écarter que fort peu, ces trois systèmes se croisent au centre de la Bretagne dans un espace assez peu étendu, entre Saint-Malo et Ploërmel. Ce ne sont pas cependant les seuls systèmes très anciens qui s'observent en Bretagne. Dans ces dernières années, M. Rivière en a signalé un autre, mais celui-ci se distingue complètement des trois premiers par sa direction qui s'éloigne peu du N.-O., au lieu de se rapprocher du N.-E.

D'après M. Rivière, ce système est parallèle aux côtes S.-O. de la Vendée et de la Bretagne. Déjà M. Boblaye, dans son excellent travail sur la Bretagne, était arrivé lui-même, relativement aux côtes S.-O. de cette presqu'île, à des conclusions que je ne pourrais traduire aujourd'hui plus exactement qu'en admettant un système parallèle à la direction générale de ces côtes, et en le supposant

(1) Dufrénoy, *Explication de la Carte géologique de la France*, chap. III, t. I^{er}, p. 240 et 244.

fort ancien. Il signale comme un des traits les plus marqués de la structure géologique de la Bretagne que ses côtes S.-O. sont bordées par un plateau plus élevé que l'intérieur de la contrée, à travers lequel les rivières s'écoulent dans des vallées profondément encaissées. « La côte méridionale, dit M. Boblaye (1), est découpée par des sinuosités profondes et multipliées ; cependant une » ligne tirée de Saint-Nazaire à Pont-l'Abbé, ou de l'E.-S.-E à l'O.-N.-O., représente assez bien sa direction générale. » Le plateau méridional, ajoute plus loin M. Boblaye (2), s'étend de l'E.-S.-E à l'O.-N.-O., sur une longueur de plus de 60 lieues, de Nantes à Quimper. Cette même direction de l'O.-N.-O à l'E.-S.-E. est, d'après M. Boblaye, celle des roches cristallines anciennes dont le plateau est formé. Il la mentionne (3) comme existant uniformément dans les gneiss et les protogines. Il parle ailleurs (4) des granites et protogines stratifiés de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E. Il cite en particulier (5) le gneiss de Quimperlé dirigé à l'E.-S.-E., et il indique (6) dans le granite de Carnac de petites couches de micaschiste dirigées de même à l'E.-S.-E.

Il est à remarquer que M. Boblaye reproduit pour toutes ces localités la même orientation exprimée seulement d'une manière générale O.-N.-O.—E.-S.-E., ce qui indique qu'il a fait abstraction des variations locales, et qu'il n'a peut-être pas entendu fixer cette orientation avec une précision rigoureuse. Je crois que, dégagée de tous les accidents qui appartiennent au système des ballons, cette direction s'éloigne de la ligne E.-O. plus que ne l'a pensé M. Boblaye, et que M. Rivière est plus près de la vérité en disant que dans la région dont il s'agit, la stratification se dirige du N.-O. un peu O. au S.-E. un peu E. (7). Il me paraît résulter, en effet, de l'étude que j'ai faite moi-même de ces contrées, en 1833, et de l'examen de la carte géologique de la France, que la direction du système qui nous occupe peut être représentée par une ligne tirée de l'île de Noirmoutier à l'île d'Ouessant, de l'E. 38° 15' S. à l'O. 38° 15' N. Cette ligne, qui est jalonnée par les masses isolées des îles d'Hœdic,

(1) Puillon-Boblaye, *Essai sur la configuration et la constitution géologique de la Bretagne. Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. XV, p. 54. (1827.)

(2) *Ibid.*, p. 65.

(3) *Ibid.*, p. 75.

(4) *Ibid.*, p. 71.

(5) *Ibid.*, p. 70.

(6) *Ibid.*, p. 69.

(7) A. Rivière, *Études géologiques et minéralogiques*, p. 264.

d'Houat, et de la presqu'île de Quiberon, se prolonge suivant la ligne des îles terminales du Finistère, de Beninguet à Ouessant. Le système qu'elle représente converge, à Ouessant, avec le système dirigé E. 20 à 25° N., dont nous nous sommes occupés en dernier lieu; et considéré dans cette région seulement, il mériterait presque à aussi juste titre que lui le nom de système du Finistère. Mais comme il domine surtout sur les côtes du Morbihan et qu'il se prolonge dans les départements de la Loire-Inférieure et de la Vendée et jusque dans celui de la Corrèze, il est plus naturel de lui donner un nom tiré d'une contrée moins voisine de sa terminaison apparente, et je propose, avec l'assentiment de M. Rivière, de le nommer *système du Morbihan*.

La direction E. 38° 15' S. — O. 38° 15' N., que j'ai indiquée ci-dessus, peut être censée rapportée à Vannes, ville située à peu de distance de quelques uns des points où cette direction se dessine le mieux, et qui serait un *centre de réduction* très favorablement situé pour toutes les observations de direction faites dans les diverses parties de la France occidentale où le système se montre avec le plus d'évidence.

Il est probable, du reste, que ce système est fort étendu; sa direction semble se retrouver dans les roches schisteuses du département de la Corrèze, de la Dordogne et de la Charente, par exemple aux environs de Julliac, dans les schistes sur lesquels reposent en stratification discordante les petits lambeaux de terrain houiller de Chabrignet, de Montchirel, de la Roche et des Bichers. La direction moyenne de ces roches paraît en effet comprise entre le S.-E. et l'E. 40° S. Or il est aisé de calculer que la direction E. 38° 15' S., transportée de Vannes à Uzerche (Corrèze), eu égard aux différences de latitude et de longitude des deux points, deviendraient E. 41° 22' S.

D'après quelques observations que j'ai faites à la hâte en 1834, la moyenne des directions les plus fréquentes dans les gneiss et les micaschistes des environs de Messine, en Sicile, est E. 53° 45' S. La direction E. 38° 15' S., transportée de Vannes à Messine, en ayant égard aux différences de latitude et de longitude des deux villes, devient à peu près E. 50° 55' S.; la différence n'est que de 2° 50'. On pourrait donc conjecturer que la direction des roches cristallines évidemment fort anciennes des environs de Messine, appartient au *système du Morbihan*.

Peut-être cette direction existe-t-elle aussi dans quelques parties du Böhmerwald gebirge (sur les frontières de la Bavière et de la Bohême) et de l'Erzgebirge. M. Cotta, dans un travail que j'ai déjà

cité précédemment (1), indique dans ces contrées cinq directions presque parallèles entre elles qui me semblent devoir être distinguées de celles qui se rapportent au système du Thüringerwald. Ces directions courent sur 11 , $10 \frac{3}{8}$, 11 , $10 \frac{3}{8}$, $10 \frac{7}{8}$, heures de la boussole, c'est-à-dire en moyenne vers le N. $19^{\circ} 7'$ O. magnétique, ou vers le N. $35^{\circ} 47'$ O. astronomique. Or la direction O. $38^{\circ} 15'$ N. transportée de Vannes à Freiberg, eu égard aux différences de latitude et de longitude de ces deux points, devient O. $50^{\circ} 28'$ N. ou N. $39^{\circ} 32'$ O.; elle diffère d'environ $10^{\circ} \frac{1}{2}$ de la direction O. 40° N. du Thüringerwald, mais elle ne s'écarte que de $3^{\circ} 45'$ de la moyenne des directions indiquées par M. Cotta. En tenant compte de l'excès sphérique, la différence pourrait aller en nombres ronds à 4° environ; elle ne serait pas beaucoup au-dessus des erreurs possibles d'observation. Les accidents stratigraphiques auxquels se rapportent les directions dont nous venons de prendre la moyenne affectent les schistes anciens de l'Erzgebirge; mais on n'en observe pas la prolongation dans le terrain silurien des environs de Prague: tout annonce donc qu'ils ont été produits immédiatement avant le dépôt du terrain silurien.

Il me paraît fort probable que les indices de stratification signalés dans les roches cristallines de l'Ukraine se rapportent aussi au système du Morbihan. Le sol d'une partie des plaines de l'Ukraine est formé par une masse de roches cristallines, connue sous le nom de *steppe granitique* qui s'étend de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E. de la Volhynie, par la Podolie aux cataractes du Dniéper et qui, traversant ce fleuve, va se perdre près des bords du Kalmiuss sous les dépôts carbonifères du Donetz. La direction des plis nombreux que présentent ces roches est en moyenne peu différente de celle de l'axe longitudinal de la steppe granitique, et M. Murchison les attribue avec beaucoup de vraisemblance à un soulèvement de cette masse cristalline; mais ces roches cristallines présentent des indices de stratification dont la direction est toute différente de celle de l'axe longitudinal de sa masse, et qui, ne se continuant pas dans les couches carbonifères, doivent avoir été produites avant leur dépôt. Diverses variétés de pegmatites sont les roches dominantes vers l'extrémité E.-S.-E. de la masse cristalline, près des bords du Kalmiuss (2): plus près du Dniéper, sur les bords de

(1) B. Cotta, *Die Erzgange und ihre Beziehungen zu deu Eruptivengesteinen*.

(2) Le Play, *Voyage dans la Russie méridionale*, par M. Anatole de Demidoff, t. IV, p. 64.

la Voltchia, au S. de Paulograd, et entre cette ville et Alexandrovsk, M. Murchison a observé diverses variétés de gneiss quartzeux et feldspathique passant à un quartz compacte gris qui alterne avec des lames très minces de talc verdâtre rarement micacé, un micaschiste grenatifère alternant avec des couches très minces d'un gneiss granitoïde, etc. Ces roches sont souvent en couches verticales, mais leur plongement habituel est du côté de l'E. sous un angle considérable. Leur direction, d'après M. Murchison, est presque parallèle au cours de la Voltchia, qu'il indique dans son texte comme dirigé au N. 15° O. ; mais qui, d'après sa belle carte zoologique de la Russie, se dirige au N. 28° O. Il dit formellement que la direction dominante de ces roches est du N.-N.-O. au S.-S.-E. (1), c'est-à-dire du N. $22^{\circ} 30'$ O. au S. $22^{\circ} 30'$ E. Or, la direction du *système du Morbihan*, transportée de Vannes (lat. $47^{\circ} 39' 26''$, long. $5^{\circ} 5' 19''$ O.) à Vassiliefka, dans la vallée de la Voltchia (lat. $48^{\circ} 11' 40''$, long. $33^{\circ} 47' 6''$ E. de Paris), en tenant compte de l'*excès sphérique* calculé comme si le grand cercle qui passe à Vannes en se dirigeant à l'E. $38^{\circ} 15'$ S., était le grand cercle de comparaison du système, cette direction devient S. $25^{\circ} 46'$ E. ; elle ne diffère que de $3^{\circ} 16'$ de celle indiquée par M. Murchison. La différence est encore moindre que celle que nous venons de trouver pour la Saxe ; seulement elle est en sens inverse.

D'après ces rapprochements que le temps et l'espace ne me permettent pas de pousser plus loin en ce moment et de formuler aussi complètement que j'ai essayé de le faire pour le *système du Westmoreland et du Hundsrück* et pour le *système du Longmynd*, je suis porté à présumer que le *système du Morbihan* n'a pas été moins largement dessiné en Europe que les trois autres systèmes dont je me suis occupé précédemment.

L'existence de ce système me paraît indiquée aussi avec assez de probabilité au-delà de l'Océan atlantique, dans des régions qui, à la vérité, ne nous sont que très imparfaitement connues, dans le Labrador et dans le Canada. Il est aisé de calculer en effet que le grand cercle qui passe à Vannes en se dirigeant à l'O. $38^{\circ} 15'$ N., coupe le 65° méridien à l'O. de Paris, par $57^{\circ} 23' 15''$ de lat. N., en se dirigeant de l'E. $41^{\circ} 3' 42''$ N. à l'O. $41^{\circ} 3' 42''$ S., et le 90° méridien à l'E. de Paris, par $51^{\circ} 37' 54''$ de lat. N., en se dirigeant de l'E. $31^{\circ} 33' 1''$ N. à l'O. $31^{\circ} 33' 1''$ S. Si on trace

(1) Murchison, de Verneuil et Keyserling, *Russia in Europe and the Ural mountains*, t. I, p. 90.

approximativement cet arc de grand cercle sur une carte de l'Amérique septentrionale, on reconnaît aisément qu'il coupe la côte N.-E. du Labrador près du port Manvers, un peu au N. de Nain, traverse le Labrador près du lac Seal, coupe la pointe méridionale de la baie d'Hudson, passe au N. de la rivière d'Albany dont il suit la direction, passe un peu au S. du lac Saint-Joseph, et coupe ensuite le lac des Bois. Dans cette dernière partie de son cours il passe à 60 lieues environ au N.-O. de la côte N.-O. du lac supérieur qui lui est parallèle dans son ensemble. L'axe longitudinal de l'Île-Royale, située dans ce vaste lac, lui est également parallèle, et en général les accidents des côtes de la partie occidentale de ce lac, formées de roches primitives en masses élevées et escarpées, présentent dans leur configuration générale plusieurs lignes dirigées à peu près de l'E. $31^{\circ} 1/2$ N. à l'O. $31^{\circ} 1/2$ S., de sorte qu'elles se coordonnent à la direction du système du Morbihan, à peu près de la même manière que les côtes S.-O. de la presqu'île de Bretagne. On peut remarquer en outre que la ligne générale qui forme la limite entre les parties du Canada et du Labrador, composées de roches primitives, et les contrées qui plus au Sud sont formées de couches siluriennes presque horizontales, est parallèle dans son ensemble et dans beaucoup de ses parties à l'arc de grand cercle dont nous venons de parler.

Le système du Morbihan est certainement fort ancien, et M. Boblaye, sans s'occuper précisément de son âge relatif, a eu bien évidemment le sentiment de l'ancienneté des accidents stratigraphiques qui s'y rapportent; on peut le conclure des passages suivants de son mémoire sur la Bretagne que j'ai déjà mentionnés dans mes recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe (*Annales des mines naturelles*, t. XVIII, p. 312).

« Les roches du second groupe, dit M. Boblaye (1), se montrent partout en gisement concordant avec les terrains qui les supportent; elles occupent une grande partie du centre du bassin de l'intérieur (de la Bretagne); elles forment presque partout une bande plus ou moins développée entre les terrains granitiques anciens et les terrains de transition.

» Dans les Côtes-du-Nord et le Finistère, elles appartiennent donc au système de stratification dirigé entre le N.-E. et le N.-N.-E., et dans une partie du Morbihan et de la Loire-Inférieure, au système dirigé à l'E.-S.-E.

» Nous croyons donc que la Bretagne montre, dans des terrains

(1) Puillon-Boblaye, *loc. cit.*, p. 66.

» très rapprochés d'âge et de position , la réunion de deux systèmes
 » de stratification à peu près perpendiculaires entre eux , dont l'un ,
 » dirigé E.-S.-E. , se retrouve dans une partie des montagnes de
 » l'intérieur de la France et dans les Pyrénées , et l'autre , signalé
 » depuis longtemps par M. de Humboldt, dirigé entre le N.-N.-E.
 » et le N.-E. , appartient aux terrains de même nature dans les
 » montagnes du nord de l'Europe (Angleterre, Écosse , Vosges ,
 » Forêt-Noire , Harz et Norvège).

» J'ajouterai à ce fait remarquable, continue M. Boblaye , que
 » la vallée de l'intérieur (de la Bretagne) forme la séparation des
 » deux systèmes.... Je puis avancer , ajoute-t-il encore , comme
 » fait général , que la stratification du terrain de transition tend
 » partout à adopter la direction de l'E. à l'O. , quels que soient
 » d'ailleurs l'âge et la direction des strates qui le composent.

» Il en résulte , dans la partie méridionale de la Bretagne , une
 » concordance apparente , mais dans la partie septentrionale et
 » surtout dans le Cotentin , une discordance absolue.

» Si à ce fait nous ajoutons que , dans le Cotentin et la partie
 » limitrophe de la Bretagne , les axes des plateaux et les longues
 » vallées qui les séparent ne sont pas dirigés vers le N.-E. comme
 » la stratification des roches anciennes qui les composent , mais
 » constamment de l'E. à l'O. , il résulte , à ce qu'il me semble ,
 » du rapprochement de ces faits , que les axes du plateau ancien
 » ont subi des modifications postérieures à sa consolidation , et que
 » ce sont ces axes modifiés qui ont déterminé la direction de la
 » stratification dans le terrain de transition. »

Il me paraît difficile de ne pas conclure de ce passage que M. Boblaye regardait les accidents stratigraphiques dirigés , suivant lui , à l'E.-S.-E. du plateau méridional de la Bretagne , de même que les accidents stratigraphiques dirigés entre le N.-N.-E. et le N.-E. du plateau septentrional , comme produits à une époque antérieure au dépôt du terrain de transition , c'est-à-dire du terrain silurien.

Les observations de M. Dufrénoy , celles de M. Rivière et les miennes conduisent à la même conclusion. Si on promène un œil attentif sur la partie de la carte géologique de la France qui représente la presqu'île de Bretagne , on voit que les lignes assez nombreuses par lesquelles s'y dessine le *système du Morbihan* s'interrompent constamment dans les espaces occupés par le terrain silurien. Je citerai pour exemple la ligne tirée de l'île de Guernesey à Sillé-le-Guillaume (département de la Sarthe). Cette ligne , jalonnée par diverses masses granitiques , est en même

temps dessinée par plusieurs massifs de schistes anciens et de gneiss, qui s'allongent suivant sa direction; mais elle n'est représentée par aucun accident remarquable dans les bandes de terrain silurien qu'elle traverse.

Les bandes siluriennes et dévoniennes sont constamment orientées suivant la direction du *système des Ballons*, qui est postérieur aux terrains silurien et dévonien, et peut-être même au calcaire carbonifère. Cette direction, dans la presqu'île de Bretagne, n'est nulle part aussi bien dessinée que dans les districts occupés par ces terrains. En cela elle contraste d'une manière frappante avec la direction du *système du Morbihan*, qui s'évanouit, au contraire, généralement, lorsqu'elle arrive aux districts siluriens et dévoniens. Cette loi présente cependant une exception; car on voit les lignes suivant lesquelles sont dirigés les plis des terrains anthraxifères des bords de la Loire et des environs de Sablé, s'infléchir vers le S., à l'E. d'une ligne tirée de Beaupréau à Ségre, et prendre à peu près la direction du *système du Morbihan*. Le même fait se reproduit plus au N., entre Domfront et Seez; mais ces faits particuliers me paraissent devoir être expliqués en admettant que, dans ces parties peu étendues, la direction du *système du Morbihan* s'est reproduite accidentellement à l'époque de la formation du *système des Ballons*, phénomène dont j'ai déjà mentionné plusieurs exemples. L'exception dont il s'agit ne me semble donc pas infirmer la règle générale de laquelle je conclus que le *système du Morbihan* est aussi évidemment antérieur aux couches siluriennes de la Bretagne que le *système des Ballons* leur est postérieur.

Le *système du Morbihan* se trouve par conséquent, relativement au terrain silurien, dans le même cas que le *système du Longmynd* et le *système du Finistère*. Mais quel est l'âge relatif du *système du Morbihan* comparé aux deux derniers?

Je ne puis, pour le moment, appliquer à la solution de cette question que des moyens analogues à ceux par lesquels j'ai essayé de faire voir que le *système du Finistère* est plus ancien que le *système du Longmynd*; leur application me conduit à conclure que le *système du Morbihan* est postérieur aux deux autres.

Ainsi que je l'ai déjà remarqué, l'une des lignes les mieux dessinées de ce système est celle qui s'étend de l'île de Noirmoutier à l'île d'Ouessant. Cette ligne suit de l'île de Beninguet à l'île d'Ouessant la chaîne des îles terminales du Finistère, où la direction de la chaîne n'est pas parallèle à la stratification des roches qui la composent; elle coupe la direction de la stratification sous un angle

d'environ 60°, ainsi qu'on peut le constater en considérant la direction de la bande schisteuse qui traverse l'île d'Ouessant de l'O.-S.-O. à l'E.-N.-E. En appliquant ici la remarque importante de M. de Humboldt, déjà rappelée ci-dessus, p. 949, on conclura que le *système du Morbihan* est postérieur, comme le *système du Longmynd*, au *système du Finistère*, auquel appartient la direction de la bande schisteuse de l'île d'Ouessant.

On peut remarquer, en outre, sur la belle carte géologique du Finistère publiée par M. Eugène de Fourcy, ingénieur des mines, que les roches granitiques du plateau méridional de la Bretagne enveloppent, notamment près de l'embouchure de la rivière de Quimperlé, des lambeaux de roches schisteuses qui, malgré leur état actuel de dislocation, conservent la direction du *système du Finistère*, ce qui conduit naturellement à supposer qu'ils avaient été plissés par le ridement du *système du Finistère* avant d'être disloqués par le soulèvement des granites du *système du Morbihan*.

Des considérations du même genre conduisent d'ailleurs à reconnaître que le *système du Morbihan* est postérieur au *système du Longmynd*, et cette seconde conclusion comprend implicitement la première, puisque nous avons déjà reconnu que le *système du Longmynd* est postérieur au *système du Finistère*.

La ligne tirée de Guernesey à Sillé-le-Guillaume, qui est, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, l'une de celles où se dessine le *système du Morbihan*, traverse la partie de la Normandie que M. Boblaye signale spécialement comme le domaine de la direction N.-N.-E., propre au *système du Longmynd*. Elle s'y dessine par divers accidents stratigraphiques et orographiques, mais elle laisse généralement subsister la stratification N.-N.-E. Elle y joue, par conséquent, relativement au *système du Longmynd*, le rôle que la direction du Longmynd joue par rapport au *système du Finistère*, comme je l'ai rappelé ci-dessus, p. 949, le long de la route de Ploërmel à Dinan. Ainsi les mêmes motifs qui nous font conclure que le *système du Finistère* est antérieur au *système du Longmynd*, doivent nous faire conclure également que le *système du Longmynd* est antérieur au *système du Morbihan*.

Cette même ligne, parallèle à la route de Ploërmel à Dinan, qui élève, sans déranger leur stratification, les schistes plissés suivant le *système du Finistère*, se conduit tout autrement par rapport au *système du Morbihan*. Son prolongement méridional traverse le plateau méridional de la Bretagne, qui appartient au *système du Morbihan*; mais bien loin d'interrompre ce plateau, comme elle

interrompt les plateaux schisteux de Ploërmel, elle s'évanouit à son approche, et elle cesse de se dessiner par aucun accident stratigraphique ou orographique remarquable. Ainsi le même raisonnement qui montre que le *système du Longmynd*, auquel appartient cette ligne si remarquable, est POSTÉRIEUR au *système du Finistère*, montre aussi qu'il est ANTÉRIEUR au *système du Morbihan*.

Il me paraît donc établi que les quatre ridements de l'écorce terrestre, dont nous nous sommes occupés dans cette note, se sont succédé dans l'ordre suivant :

Système du Finistère,
Système du Longmynd,
Système du Morbihan,
Système du Westmoreland et du Hundsrück ;

Et que le troisième est antérieur à toutes les couches siluriennes qui existent dans la presqu'île de Bretagne, de même que le quatrième leur est postérieur.

Les schistes anciens de la Bretagne ressemblent sous plus d'un rapport aux schistes anciens du Cumberland, à ceux de la série dont fait partie le schiste noir lustré et souvent maclifère de *Skiddaw*. Jusqu'à présent on n'avait pas trouvé de fossiles dans ces schistes anciens du Cumberland ; mais j'apprends par une lettre récente de M. le professeur Sedgwick, que pendant l'été de 1847 il y a découvert des *Graptolites* et des *Fucoïdes*. Quelques rares fossiles (Encrines) se trouvent aussi au milieu des schistes anciens de la Bretagne et de la Normandie dans le calcaire de *Cartravers* (Côtes-du-Nord), qui forme une masse lenticulaire peu étendue, renfermée dans des schistes noirâtres lustrés et dans celui du Quency enclavé dans des schistes bleuâtres satinés, entre Saint-Lô et Littry (1). Dans les schistes anciens du Cumberland on ne trouve pas de calcaire, et le calcaire est fort rare aussi dans les schistes anciens de la Bretagne et de la Normandie où je ne connais d'autres masses calcaires que celles de Cartravers et du Quency, à laquelle il faut ajouter quelques plaquettes calcaires aux environs de Saint-Lô. Les schistes anciens de la Bretagne me paraissent avoir, au total, beaucoup plus de ressemblance avec les schistes anciens du Cumberland qu'avec les ardoises vertes liées aux *feldstones* de M. le professeur Sedgwick. Cette circonstance concourt avec le fait que les schistes dont il s'agit sont tous affectés par les rides du *système*

(1) Dufrénoy, *Explication de la carte géologique de la France*, t. I, p. 213.

du *Finistère* aussi bien que par celles des *systèmes du Longmynd* et du *Morbihan*, pour me faire penser que les schistes anciens de la Bretagne sont réellement très anciens. Dans l'explication de la carte géologique de la France ces schistes ont été coloriés en gris clair, indiqués par le signe *i'* et désignés sous le nom de *terrain cambrien*. Cependant si ces schistes correspondent aux schistes anciens du *Cumberland*, il est douteux, d'après les savantes recherches de M. le professeur Sedgwick, qu'ils aient aucun représentant dans les montagnes *cambriennes* du pays de Galles, tandis qu'ils en auraient un certain dans les montagnes *cumbriennes* du *Cumberland*. Pour faire disparaître cette inconséquence de langage sans altérer considérablement la nomenclature reçue, je proposerai de désigner à l'avenir les schistes anciens de la Bretagne sous le nom de *schistes cumbriens*.

Les schistes anciens de la Bretagne, soit qu'ils affectent la direction du *système du Finistère*, celle du *système du Longmynd*, ou celle du *système du Morbihan*, sont recouverts en *stratification discordante* par un grand dépôt de grès, de poudingues quartzeux et de quartzites, qui paraît être l'équivalent du *grès de Caradoc*. Ce fait peut s'expliquer très simplement en admettant que la mer où s'est déposé le grès de Caradoc a été beaucoup plus étendue que celles où se sont déposées les couches fossilifères antérieures à ce grès. Je crois que cette mer a couvert les parties de la Bretagne, de la Scandinavie et de l'Amérique septentrionale où le terrain silurien s'est déposé, et que les premières couches siluriennes qui s'observent dans la Bretagne, la Scandinavie et l'Amérique septentrionale, sont non seulement à très peu près contemporaines, comme l'établissent si bien les savantes recherches paléontologiques de M. de Verneuil, mais *exactement* contemporaines, et qu'elles représentent proprement le *grès de Caradoc*. Je crois enfin que les couches souvent cristallines sur lesquelles ces dépôts quartzeux reposent sont beaucoup plus anciennes, de sorte que dans ces diverses contrées il existe dans la série des terrains stratifiés une *lacune considérable*. En Bretagne cette lacune me paraît correspondre à la double période de tranquillité qui s'est écoulée entre le soulèvement du *système du Finistère* et celui du *système du Morbihan*.

Suivant nos conjectures, les parties du sol européen et américain qui forment aujourd'hui la Bretagne, la Scandinavie et les États-Unis, auraient été abandonnées par la mer au moment où se sont formées les rides de l'un des systèmes antérieurs (en Bretagne celles du *système du Finistère*); mais la mer y serait revenue

immédiatement après la formation des rides du *système du Morbihan*, et un grand dépôt de grès et de poudingues quartzeux, dont le grès de Caradoc fait partie, aurait été dans une grande partie de l'Europe et de l'Amérique le résultat de son invasion. Le grès de Caradoc formerait ainsi un *horizon géognostique* comparable à celui du vieux grès rouge.

Mais comment l'horizon du grès de Caradoc se dessine-t-il dans le pays de Galles? s'il est prouvé que le *système du Morbihan est antérieur à toutes les couches siluriennes de la Bretagne*, doit-on en conclure qu'il est antérieur à toutes les couches des montagnes du pays de Galles, que M. Murchison regarde comme appartenant à la partie inférieure du terrain silurien?

Cette question importante se trouvera sans doute résolue lorsque M. Murchison et M. le professeur Sedgwick seront tombés complètement d'accord sur la classification des couches de cette contrée si intéressante et si difficile. Tout le monde sentira combien il serait téméraire de ma part de vouloir résoudre dans mon cabinet une question qui tient encore en suspens les géologues les plus éminents et ceux qui ont le mieux étudié le pays. Je puis d'autant moins essayer de le faire, que les travaux dont le pays de Galles a été l'objet dans ces dernières années n'ont pas encore été publiés d'une manière complète. Désirant cependant montrer combien j'attache d'importance à une question qui me paraît intéresser à un très haut degré l'avenir de la géologie paléozoïque, j'essaierai d'apporter pour sa solution le faible tribut de mes *conjectures*.

Le point essentiel me semblerait être de trouver dans le dessin si compliqué de la structure stratigraphique des montagnes du pays de Galles un trait qu'on pût rattacher nettement au *vaste horizon du grès de Caradoc*. Or, je remarque que la ligne tirée du centre du massif du Longmynd au centre du massif de l'île d'Anglesey est sensiblement orientée suivant la direction du système du Morbihan; que cette ligne passe dans le voisinage des sommités les plus élevées du pays de Galles; que les couches les mieux caractérisées et les plus anciennement reconnues du terrain silurien s'en tiennent éloignées avec une sorte de respect; que cette ligne forme l'axe d'une zone qui semble avoir formé dans la mer où s'est déposé le grès du Caradoc, une île dont l'île d'Anglesey serait un reste, à peu près comme l'île de Guernesey est un reste d'une île que formaient, dans la même mer, les masses de granites et de schistes anciens, non recouvertes, qui s'étendent, ainsi que je l'ai remarqué précédemment, page 956, de Guernesey à Sillé le Guillaume.

La réunion de ces diverses circonstances me conduit à conjecturer que la zone du pays de Galles, qui s'étend de l'île d'Anglesey au Longmynd, a été élevée au-dessus du niveau des mers, comme la bande de terrain ancien qui s'étend de Guernesey à Sillé le Guillaume, par le ridement de l'écorce terrestre auquel est dû le *système du Morbihan*, et que la disposition affectée relativement à cette zone par le grès de Caradoc et par les couches siluriennes supérieures à ce grès, fait partie intégrante de cette disposition générale et toute nouvelle qui me portent à regarder le grès de Caradoc comme formant la base d'une formation indépendante et l'un des meilleurs horizons géognostiques qui aient encore été observés.

Dans l'hypothèse que je me hasarde à proposer, le sol de cette île, premier noyau du pays de Galles, qui comprenait l'île d'Anglesey et les collines du Longmynd, aurait été traversé du S.-S.-O. au N.-N.-E. par la crête du Longmynd et par une série d'autres crêtes parallèles et contemporaines, qui sans être alors aussi élevées qu'elles le sont aujourd'hui, auraient présenté dès cette époque une première ébauche de leurs formes actuelles, dépendante du système de rides dont le Longmynd lui-même fait partie. Mais pendant la période qui a suivi immédiatement la formation du *système du Longmynd*, ces crêtes seraient demeurées en partie submergées, ou n'auraient formé qu'une série d'îles étroites, orientées du S.-S.-O. au N.-N.-E. : elles n'auraient fait partie d'une grande île continue, orientée dans son ensemble du N.-O. au S.-E., qu'après la formation du *système du Morbihan*.

Les circonstances les plus énigmatiques que présente le gisement d'une partie des couches du pays de Galles, me paraissent concorder avec mon hypothèse. Les couches du grès de Caradoc, qui reposent en stratification discordante sur les schistes du Longmynd, reposent au contraire en stratification concordante sur une longue série de couches fossilifères parmi lesquelles sont comprises celles du lac de Bala et peut-être d'autres beaucoup plus anciennes. Cette double circonstance peut s'expliquer très simplement en admettant que les couches schisteuses du Longmynd et les couches du grès de Caradoc, qui leur sont superposées transgressivement, laissent entre elles une lacune égale à toute l'épaisseur des couches qui prolongent inférieurement, jusqu'au calcaire de Bala et plus bas encore, la série constamment concordante avec le grès de Caradoc.

L'hypothèse proposée permet en effet de concevoir que la superposition du grès de Caradoc sur les couches redressées des collines du Longmynd ne se serait pas opérée immédiatement après

le redressement de ces dernières couches , mais seulement après la formation du *système du Morbihan* , que nous avons vu être postérieur au *système du Longmynd*. Pendant la période comparativement tranquille qui s'est écoulée entre la formation du *système du Longmynd* et celle du *système du Morbihan* il a dû se former dans les mers une série de couches régulières , et cette série peut exister dans le centre même du pays de Galles , si la mer n'en a été complètement exclue qu'au moment de la formation du *système du Morbihan*. Cette série , dans mon hypothèse , est parallèle au grès de Caradoc , du moins en apparence , parce que le bossellement qui a émergé une partie du sol du pays de Galles , lors de la formation du *système du Morbihan* , et qui a empêché le grès de Caradoc et les couches supérieures du terrain silurien des'y déposer , n'y a produit que des dénivellations et presque pas de plis ni de fractures.

Dans ma supposition , les fractures et les plis dont ces couches sont affectées , seraient généralement indépendantes de la formation du *système du Morbihan* ; quelques unes dirigées presque exactement vers le N.-E. , appartiendraient au *système du Westmoreland et du Hundsrück* ; d'autres appartiennent certainement à des systèmes plus modernes notamment au *système de la Côte-d'Or*. Peut-être y aurait-il aussi un partage à effectuer parmi les dislocations dirigées vers le N.-N.-E. J'ai exprimé ailleurs l'opinion qu'il existe dans la partie occidentale de la Grande-Bretagne et en Irlande beaucoup de dislocations dirigées à peu près au N. N.-E. , dont la date est postérieure au dépôt des terrains paléozoïques (1) ; mais j'ignore si une part doit être faite au *système du Rhin* dans les rides des couches de la région du Snowdon , si profondément étudiées par M. le professeur Sedgwick , ou si ces rides doivent être toutes considérées comme appartenant au même système stratigraphique que les couches redressées du Longmynd dont elles se rapprochent par leur direction.

Je crois cependant que la plupart des directions N.-N.-E. qui existent en si grand nombre dans les parties montagneuses du pays de Galles , doivent *en principe* leur existence à un phénomène de ridement antérieur non seulement au grès de Caradoc , mais encore à un groupe considérable de couches fossilifères antérieures à ce grès. Ces couches fossilifères inférieures et le grès de Caradoc lui-même sont souvent affectés de cette même direction

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. I^{er}, p. 435.

N.-N.-E. : la crête des *stiperstones* qui constitue le bord occidental des collines du Longmynd en offre un exemple d'autant plus remarquable que le grès de Caradoc y est non seulement redressé dans la direction N.-N.-E., mais en même temps passé à l'état métamorphique. Les collines mêmes de Caradoc, et particulièrement le Lawley, présentent d'autres exemples du même fait, qui se multiplie presque à l'infini dans cette contrée ; il est dû à ce que les accidents stratigraphiques du *système du Longmynd* ont été amplifiés pour la plupart à l'époque où se sont produits les accidents du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, qui souvent ont dévié de leur direction naturelle pour se confondre avec les premiers. D'autres accidents postérieurs et surtout de nombreuses éruptions de roches de trapp, opérées suivant les fissures originales du *système du Longmynd*, ont encore concouru selon toute apparence au même phénomène. Il me paraît en effet naturel d'appliquer à ces masses éruptives l'hypothèse que j'ai appliquée, dès la première publication de mes recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe, aux leucitophyres et aux trachytes de l'Italie méridionale, dont les éruptions sont bien postérieures au *système des Pyrénées et des Apennins*. J'ai fait remarquer dès lors qu'on observe la direction de ce système dans « deux » rangées de masses volcaniques, qui courent parallèlement aux » Apennins, l'un à travers la terre de Labour des environs de » Rome à ceux du Bénévent, et l'autre dans les îles Ponces de » Palmarola à Ischia (1) » et je dirais des roches trappéennes du pays de Galles comme des ophytes des Pyrénées, dont le soulèvement a aussi été postérieur à la formation du *système des Pyrénées et des Apennins*, « qu'elles se sont souvent alignées par files qui suivent les » directions de toutes les *anciennes fractures, de tous les clivages* » plus ou moins oblitérés que présentait le sol qu'elles avaient à » percer (2) ».

Ces éruptions de roches trappéennes, ainsi que M. Murchison l'a parfaitement constaté, se sont renouvelées à diverses époques, pendant le dépôt des couches siluriennes et même longtemps après leur dépôt ; il en est résulté des accidents stratigraphiques très variés dans leurs détails, mais la superposition contrastante des couches supérieures du grès de Caradoc sur les tranches des roches schisteuses du Longmynd, observée par M. Murchison près du *Mynd*-

(1) *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 297 (1829).

(2) *Manuel géologique*, p. 656. — *Traité de géognosie*, t. III, p. 364.

Mitl farm et de *Choulton Bridge* (1), au pied même des collines du Longmynd, est à mes yeux un trait caractéristique qui se rattache à l'horizon géognostique du grès de Caradoc, et qui me paraît ne devoir laisser aucun doute sur le point fondamental de l'explication que je propose.

Les changements de niveau qui ont accompagné dans le pays de Galles la formation du *système du Morbihan* et qui en ont émergé une partie, ont été cause que la mer a couvert, dans le pays de Galles même, certaines régions qu'elle ne couvrait pas auparavant, notamment les pentes du Longmynd, en même temps qu'elle a envahi d'immenses espaces en Bretagne, en Scandinavie, en Amérique, etc. Cet envahissement me paraît indiqué d'une manière évidente par l'immense étendue horizontale que prend subitement la série de couches qui commence au grès de Caradoc, et cette extension toute nouvelle établit à mes yeux une ligne de démarcation des plus tranchée entre la série des couches qui y participe, et que j'appellerais assez volontiers le *terrain silurien proprement dit*, et la série de couches plus ancienne et plus circonscrite ou du moins tout autrement circonscrite dont le calcaire de Bala fait partie. Un phénomène analogue s'est accompli, pendant la période jurassique, lorsque l'argile d'Oxford est venue s'étendre sur les couches paléozoïques et triasiques des plaines de la Russie, sans y avoir été précédée par le lias ni par le premier étage oolithique; et ce fait, sur lequel les savantes observations de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling ne laissent aucun doute, pourrait motiver de même le partage du terrain jurassique en deux terrains distincts.

Il appartient aux illustres géologues qui ont fait jaillir des montagnes du pays de Galles tant de lumières inattendues, de fixer le nom qui devra être donné à la série de couches fossilifères, inférieure et parallèle au grès de Caradoc, dont le calcaire de Bala fait partie : je me bornerai à désigner cette série de couches sous la dénomination de *série fossilifère du calcaire de Bala*; mais quel que soit le nom qui pourra lui être imposé définitivement, il me paraît évident que cette série inférieure représente chronologiquement la période géologique comparativement tranquille qui s'est écoulée entre la production du *système du Longmynd* et celle du *système du Morbihan*.

La *série fossilifère du calcaire de Bala* n'existe pas dans la pres-

(1) *Murchison silurian system*, pl. XXXI, fig. 3; pl. XXXII, fig. 4; et pl. XXXIII, fig. 1.

qu'île de Bretagne. Les premières couches siluriennes qui s'observent dans cette contrée et qui me paraissent représenter le grès de Caradoc, reposent constamment sur des couches beaucoup plus anciennes, de sorte qu'il doit exister, au point de superposition, une lacune dans la série géologique, comparable à celle que j'ai signalée précédemment (voyez page 564 du présent volume) entre la craie blanche et l'argile plastique de beaucoup de parties de la France et de l'Angleterre.

La lacune doit être ici très considérable, car ce n'est pas seulement la *série fossilifère de Bala* qui me paraît manquer dans la plus grande partie de la Bretagne. Je n'y trouve pas non plus de représentants des schistes verts avec porphyres subordonnés (*feldstones*) du pays de Galles et du Westmoreland.

Suivant mes conjectures, la mer aurait couvert l'emplacement des montagnes actuellement les plus élevées du pays de Galles pendant la période comparativement tranquille qui a suivi la formation du *système du Finistère*, et c'est pendant cette période que se serait formé le *terrain des ardoises vertes et des feldstones*.

La mer n'aurait abandonné que partiellement cet espace au moment de la formation du *système du Longmynd*, et c'est pendant la période subséquente que s'y serait déposée la *série fossilifère du calcaire de Bala*. Le dépôt de cette série se serait prolongé sans interruption jusqu'au moment de la formation du *système du Morbihan*, et le grès de Caradoc ferait à peu près continuité avec cette même série, parce que le ridement qui a donné naissance au *système du Morbihan* ne se serait opéré dans le pays de Galles qu'avec une faible intensité. Il aurait suffi cependant, pour que la mer du grès de Caradoc ne pût opérer aucun dépôt sur les couches fossilifères des parties aujourd'hui les plus élevées du pays de Galles, et pour qu'elle pût en opérer au contraire sur le pied des pentes des collines du Longmynd que la mer précédente n'avait pas recouvert.

Les quatre systèmes de montagnes dont nous venons de parler, quoique fort anciens, sont peut-être bien loin cependant d'être les plus anciens qui se soient dessinés sur la surface du globe. Le plus ancien des quatre, le *système du Finistère*, est postérieur aux *schistes cumbriens* de la Bretagne, qui se présentent déjà comme un groupe régulier de dépôts sédimentaires, comparable, sous beaucoup de rapports, aux groupes de dépôts sédimentaires qui représentent les périodes de tranquillité subséquentes. L'analogie conduirait donc à supposer que le dépôt des *schistes cumbriens* de la Bretagne aurait été précédé par la formation d'un système de

montagnes plus ancien que celui du Finistère. Peut-être même faudrait-il traverser une série plus au moins étendue d'époques de soulèvement et de périodes de tranquillité pour remonter jusqu'au moment où le refroidissement graduel de l'écorce terrestre a cessé d'être plus rapide que le refroidissement moyen de sa masse totale (1). Je manque de données pour rien préciser à cet égard, mais je m'empresse de prendre acte dès aujourd'hui de ce que M. Rivière, qui a beaucoup étudié le département de la Vendée et le S.-O. de la Bretagne, signale dans ces contrées un système de dislocations plus ancien que tous ceux dont nous venons de nous occuper.

D'après M. Rivière, ce système, que je proposerais de nommer *système de la Vendée*, se dirige à peu près du N.-N.-O. au S.-S.-E. (2).

Peut-être M. Boblaye a-t-il déjà signalé, sans le savoir, un accident stratigraphique en rapport avec ce système, dans le passage suivant de son mémoire sur la Bretagne, déjà cité ci-dessus.

« *Granite et micaschiste*, stratification. Dans cette formation de » granite et de micaschiste, la stratification ne montre plus cette » uniformité de direction E.-S.-E. — O.-N.-O. que nous avons » vu régner dans les gneiss et protogines. A partir de Saint-Adrien » (près Redon), en suivant les bords du Blavet jusqu'à Pontivy et » de là au Guémené, on la voit se diriger au N.-N.-O., puis s'in- » fléchir vers le N.-O. et l'O., en approchant du Faouet, s'ap- » puyant constamment au S.

» Elle paraît ainsi envelopper le massif postérieur au leptinite, » qui prend un très grand développement dans cette partie cen- » trale de la Bretagne. Je dois dire en terminant ce qui est relatif » à cette formation, que parmi les micaschistes observés à sa sur- » face, il en est plusieurs qui m'ont paru plutôt superposés qu'in- » tercalés (Sainte-Barbe près le Faouet, etc.) (3). »

Je crois avoir été dans le cas d'observer de mon côté des accidents stratigraphiques qui font partie de ce même système, à une époque où je ne soupçonnais pas encore son existence indépendante.

(1) Voyez une *Note sur le rapport qui existe entre le refroidissement progressif de la masse du globe et celui de sa surface*, que j'ai consignée dans les *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XIX, p. 1327 (16 décembre 1844)

(2) A. Rivière, *Études géologiques et minéralogiques*, p. 264.

(3) Puillon-Boblaye, *Essai sur la configuration et la constitution géologique de la Bretagne*. — *Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. XV, p. 75 (1827).

En 1833 j'ai parcouru dans toutes ses parties l'île de *Belle-Isle*, où j'ai relevé un grand nombre de directions. Cette île est formée presque en entier par des schistes verts lustrés, avec veines irrégulières de quartz blanc laiteux, qui ressemblent beaucoup, sous le rapport minéralogique, à certains *killas* du Cornouailles. L'aspect lustré de ces schistes est évidemment dû à un phénomène métamorphique, et le métamorphisme est quelquefois poussé au point que des cristaux de feldspath se développent au milieu du schiste qui passe ainsi à un gneiss porphyroïde, dont on observe un exemple remarquable à la pointe des Canons, à l'extrémité S.-E. de l'île.

Les schistes de Belle-Isle sont certainement fort anciens. Ils me paraissent l'être au moins autant que ceux que j'ai cités ci-dessus, page 957, comme enclavés dans les granites du plateau méridional de la Bretagne, où ils conservent, malgré leur état actuel de dislocation, la direction du *système du Finistère*.

Le lambeau saillant de roches schisteuses qui constitue l'île de Belle-Isle est le dernier terme d'une série de lambeaux de gneiss et de schistes, qui, commençant à Redon, s'avance au milieu des granites du Morbihan dans la direction de l'E. 20° S., c'est-à-dire dans la direction propre au *système du Finistère*.

Cependant la direction du *système du Finistère* n'est pas à beaucoup près celle qu'on observe le plus fréquemment dans les schistes de Belle-Isle; des directions qui en moyenne sont presque perpendiculaires à celle-là y sont infiniment plus habituelles. Les schistes de Belle-Isle sont extraordinairement plissés, mais leurs plis, quoique souvent très sinueux, présentent des directions qui se groupent pour la plupart autour des quatre orientations suivantes : O. 35° N., N. 20° O., N. 3° 10' O., N. 19° 32' E.; les directions comprises entre l'E. et le N.-E. sont peu nombreuses.

La direction O. 35° N. est à trois degrés près celle du *système du Morbihan*; la direction N. 19° 32' E. se rapproche encore davantage de celle du *système du Longmynd*; la direction N. 3° 12' O. pourrait être rapportée au *système du nord de l'Angleterre*. Quant à la direction N. 20° O., je serais très porté à admettre qu'elle appartient au *système de la Vendée*.

En admettant avec M. Rivière que le *système de la Vendée* est le plus ancien de tous ceux dont on observe des traces dans la France occidentale on concevrait comment les schistes de Belle-Isle, déjà fortement plissés suivant la direction de ce système, ont pu l'être encore par ceux des systèmes postérieurs dont la direction était peu différente, tandis qu'ils n'ont pu l'être aussi aisément par

ceux dont la direction était presque perpendiculaire comme le *système du Finistère* et le *système du Westmoreland et du Hundsrück*.

Je ne connais pas personnellement les faits d'après lesquels M. Rivière considère le *système de la Vendée* comme plus ancien que tous ceux auxquels nous pouvons le comparer ; mais indépendamment de la circonstance que je viens de signaler, les rapprochements suivants me portent encore à croire fondée la classification proposée par cet habile géologue.

Les directions des cinq systèmes que nous venons de considérer, présentent entre elles des relations qui , sans se réduire à ce qu'on pourrait appeler des chiffres absolument mathématiques, sont cependant remarquables par la simplicité dont elles approchent dans des limites qui ne dépassent pas beaucoup l'incertitude dont il est certain que chacune d'elles en particulier demeure encore affectée.

Le *système de la Vendée* est dirigé , d'après M. Rivière , au N.-N.-O. , soit N. 22° 30' O.

La direction du *système du Finistère*, transportée à Vannes, est à très peu près E. 21° 5' N.

La direction du *système du Longmynd*, transportée à Vannes, est à très peu près N. 22° 49' E.

La direction du *système du Morbihan* est à Vannes E. 38° 15' S.

La direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, transportée à Vannes, est à très peu près E. 39° 59' N.

On voit, en comparant ces directions, que celle du *système du Finistère* est perpendiculaire, à moins d'un degré et demi près, à celle du *système de la Vendée*, auquel le premier a succédé peut-être immédiatement.

On voit de plus que la direction du *système de Longmynd*, qui a suivi les deux autres, forme d'une part, avec celle du *système de la Vendée*, un angle de 45° 19', et de l'autre, avec celle du *système du Finistère*, un angle de 46° 6', c'est-à-dire que la direction du *système du Longmynd* divise l'angle, formé par les directions des deux systèmes qui l'ont précédé, en deux parties égales entre elles à moins d'un degré près.

La direction du *système du Morbihan* forme un angle de 29° 15' avec celle du *système de la Vendée*, et un angle de 59° 20' avec celle du *système du Finistère* ; elle a divisé l'angle compris entre les directions de ces deux systèmes antérieurs en deux parties, dont l'une est à peu près double de l'autre. De plus, elle fait un angle de 15° 26' avec une ligne perpendiculaire à la direction du *système du Longmynd* (ligne qu'on pourrait appeler une *direction virtuelle*), de sorte qu'elle a aussi divisé en deux parties, dont l'une

est à peu près double de l'autre, l'angle formé par la direction du *système de la Vendée*, et la perpendiculaire à la direction du *système du Longmynd*. Il n'est pas inutile d'ajouter qu'en faisant subir à la direction du *système du Morbihan* un changement de vingt-cinq minutes seulement, on rendrait ce double rapport à très peu près exact, et que dans ces deux divisions comparées entre elles, la partie double de l'autre se trouve placée en sens inverse.

Ces relations me paraissent très remarquables en ce qu'elles semblent indiquer que la direction du système du Morbihan a été une conséquence des directions des trois autres systèmes et en ce qu'elles tendent par conséquent à confirmer les raisonnements qui nous ont fait conclure qu'il leur est postérieur.

La direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück* fait, d'une part avec la direction du *système de la Vendée*, un angle de $72^{\circ} 31'$, et de l'autre, avec celle du *système du Morbihan*, un angle de $78^{\circ} 14'$; ces deux angles ne diffèrent l'un de l'autre que de $5^{\circ} 43'$, ainsi on peut dire que la direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück* a divisé en deux parties peu éloignées d'être égales entre elles l'angle formée par les directions de deux des systèmes antérieurs. De plus, la direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück* forme d'une part, avec la direction du *système du Finistère*, un angle de $18^{\circ} 54'$, et de l'autre, avec la direction du *système du Longmynd*, un angle de $27^{\circ} 12'$. Le premier de ces deux angles est à peu près, au second, dans le rapport de 2 à 3, et on peut remarquer que si on faisait subir à la direction du *système du Finistère* un changement de 29 minutes seulement, et qu'on le supposât E. $39^{\circ} 30'$ N., le rapport de 2 à 3 deviendrait sensiblement exact tandis que les angles que cette direction ferait avec celles des systèmes de la *Vendée* et du *Morbihan* ne différeraient plus que de $4^{\circ}, 45'$.

Les directions des systèmes de montagnes qui, dans l'ordre chronologique ont succédé au *système du Westmoreland et du Hundsrück*, se prêtent également à des rapprochements du genre de ceux qui viennent de nous occuper.

La direction du *système des Ballons*, transportée à Vannes, est à peu près E. $8^{\circ} 40'$ S.

La direction du *système du nord de l'Angleterre*, transportée à Vannes, est à peu près N. $5^{\circ} 25'$ O.

Enfin, pour nous arrêter aux systèmes de la période paléozoïque, la direction du *système des Pays-Bas*, transportée à Vannes, est à peu près E. $10^{\circ} 10'$ N.

De là il résulte, qu'à Vannes, la direction du *système des Ballons*

fait avec la direction du système du *Westmoreland* et du *Hunds-rück* un angle de $48^{\circ} 39'$, avec la direction du système du *Morbihan* un angle $29^{\circ} 35'$, avec la direction du système du *Finistère* un angle de $29^{\circ} 45'$, avec une perpendiculaire à la direction du système du *Longmynd* un angle de $14^{\circ} 9'$, et avec la direction du système de la *Vendée* un angle de $58^{\circ} 50'$. Ainsi la direction du système des *Ballons* a divisé en deux parties à peu près égales l'angle formé par les directions des systèmes du *Finistère* et du *Morbihan*, et elle a formé, avec la perpendiculaire à la direction du système du *Longmynd* et avec les directions des systèmes du *Westmoreland* et du *Hunds-rück* et de la *Vendée*, des angles qui approchent beaucoup d'être dans les rapports de 1 : 3 : 4.

On voit encore que la direction du système du nord de l'*Angleterre* a formé avec la direction du système de la *Vendée* un angle de $17^{\circ} 5'$, avec la direction du système du *Longmynd* un angle de $28^{\circ} 14'$, avec la direction du système du *Finistère* un angle de $74^{\circ} 20'$, et avec la direction du système des *Ballons* un angle de $75^{\circ} 55'$. Ainsi elle a divisé l'angle formé par les directions des systèmes du *Finistère* et des *Ballons* en deux parties à peu près égales, et l'angle formé par les systèmes de la *Vendée* et du *Longmynd* en deux parties, dont le rapport est à peu près celui de 2 à 3.

Enfin, la direction du système des *Pays-Bas* a formé avec la direction du système du *Finistère* un angle de $10^{\circ} 55'$, avec la direction du système des *Ballons* un angle de $18^{\circ} 50'$, avec la direction du système du *Westmoreland* et du *Hunds-rück* un angle de $29^{\circ} 40'$, et avec la direction du système du *Morbihan* un angle de $48^{\circ} 25'$. Ainsi elle a divisé l'angle formé par les directions des systèmes du *Finistère* et des *Ballons* en deux parties qui sont à peu près dans le rapport de 1 à 2. L'angle formé par les directions des systèmes du *Westmoreland* et du *Hunds-rück* et du *Morbihan* en deux parties qui sont à peu près dans le rapport de 2 à 3, et l'angle formé par les directions des systèmes du *Finistère* et du *Morbihan* en deux parties qui sont à peu près dans le rapport de 1 à 5.

Ces derniers rapports exigeront une révision et probablement des rectifications ultérieures; ils sont moins exacts que ceux que nous avons remarqués en premier lieu, et cela me porterait à conclure que la méthode de calcul que j'ai suivie dans cette note est, en elle-même, plus exacte que la méthode graphique dont je m'étais contenté dans mes recherches antérieures sur les directions de différents systèmes de montagnes. En tout état de cause, les rapprochements auxquels nous venons de nous livrer, me paraîtraient tendre à faire présumer que les directions assignées aux

divers systèmes que nous avons considérés , ne présenteraient guère que des inexactitudes de l'ordre de celles qui se manifestent dans les divisions d'angles que nous venons de considérer, inexactitudes dont la plus considérable est de *moins de cinq degrés*.

On pourrait même en inférer que les inexactitudes de ces déterminations sont encore moindres , car d'une part il n'est pas établi qu'il soit dans l'essence du phénomène des ridements successifs de l'écorce terrestre que ces bissections et ces trisections s'opèrent avec une exactitude absolue et dans tous les cas cette rigueur ne devrait se manifester qu'autant qu'on pourrait comparer entre eux les véritables *grands cercles de comparaison* des différents systèmes au lieu des *grands cercles de comparaison provisoires* dont nous avons dû nous contenter : enfin les rapprochements auxquels nous venons de nous livrer ne conduiraient pas exactement aux mêmes résultats dans tous les points où on pourrait transporter les directions à comparer. Nous nous sommes borné à opérer uniformément toutes ces comparaisons sur les directions transportées à Vannes ; mais il y a telle de ces comparaisons pour laquelle un point de l'Europe, fort éloigné de Vannes, serait peut-être plus heureusement choisi , et dont le choix seul pourrait équivaloir, relativement à la plus incertaine de nos comparaisons , à cette modification de 25 à 29', dont nous avons parlé, et même à des modifications plus considérables encore. Nous avons vu, en effet, précédemment (voyez ci-dessus , p. 893) que dans l'étendue d'un carré sphérique de 400 lieues seulement de côté , la correction due à l'*excès sphérique* dans le transport d'une direction d'un point à un autre , peut s'élever à près de 2°. S'il y avait plusieurs directions à transporter en un même point dans cet espace circonscrit , les corrections seraient différentes et pourraient être en sens opposés. De pareils transports pourraient donc quelquefois changer de 3 à 4° les angles formés par les directions transportées, et si les transports s'opéraient dans un espace plus étendu , les modifications deviendraient plus grandes encore.

Pour chacune des divisions d'angles qui s'opèrent approximativement entre les directions transportées à Vannes, il y aurait généralement un point de la sphère terrestre où il faudrait transporter les directions auxquelles elles se rapportent pour qu'elles s'opérasent le plus exactement possible. La recherche de ces points ne serait pas sans intérêt pour la détermination des rapports des différents systèmes comparés entre eux ; mais le temps et l'espace me manquent pour me livrer actuellement à cette recherche. Je remarquerai seulement que ces rapprochements, malgré leur im-

perfection, sont déjà plus voisins de l'exactitude que plusieurs de ceux auxquels on s'est livré jusqu'à présent sur les directions des différents systèmes de montagnes.

En effet, M. Rivière et M. Le Blanc se sont attachés à montrer que deux systèmes de montagnes dont les formations ont été consécutives, approchent souvent d'être perpendiculaires l'un à l'autre (1). M. Le Blanc a cité comme exemples de cette perpendicularité le système du nord de l'Angleterre et le système des Pays-Bas; le système du Rhin et le système du Thüringerwald, du Bohmerwald Gebirge, du Morvan; le système de la Côte-d'Or et le système du mont Viso; le système des Pyrénées et le système des îles de Corse et Sardaigne. Parmi tous ces exemples, un seul peut être mis en parallèle avec ceux que je viens de citer, c'est le premier; il est en effet certain que le système du nord de l'Angleterre est perpendiculaire, à 5° près, au système des Pays-Bas. Mais le système du Rhin (N. 21° E.) fait avec le système du Thüringerwald (O. 40° N.) un angle de 71°; le système de la Côte-d'Or (E. 40° N.) fait avec le système du mont Viso (N. 22° 30' O.) un angle de 72° 30'; le système des Pyrénées (O. 18° N.) fait avec le système des îles de Corse et de Sardaigne (N.-S.) un angle de 72°. Dans ces trois derniers cas il s'en faut de 17 à 19° que les systèmes comparés ne soient perpendiculaires entre eux, et on ne peut même pas dire qu'ils le soient approximativement, attendu que les directions que j'ai assignées à ces systèmes, sans être sans doute d'une exactitude rigoureuse, ne présentent certainement pas des erreurs de plus de 17°. Je serais d'autant moins porté à le croire, que dans chacun de ces trois exemples les deux systèmes se coupent de manière à former entre eux des angles de 72 et de 108° à peu près, c'est-à-dire des angles qui sont entre eux comme 2 : 3.

Mais lorsqu'il s'agit de rapprochements de ce genre, il n'est pas nécessaire de comparer toujours entre eux des systèmes de montagnes immédiatement consécutifs. Ainsi que M. L. Frapolli l'a parfaitement expliqué dans son remarquable mémoire sur la nature et l'application du caractère géologique (2), il paraît bien qu'il existe dans la nature une cause puissante qui tend à donner

(1) A. Le Blanc, *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XII, p. 440 (1844).

A. Rivière, *Études géologiques et minéralogiques*, p. 252.

(2) L. Frapolli, *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. IV, p. 628 (1847).

aux rapports de directions qui nous occupent une exactitude au moins approximative. Mais cette cause ne tend pas nécessairement à faire que deux systèmes qui se sont suivis consécutivement dans une même contrée, soient perpendiculaires entre eux, tandis qu'elle peut très bien être cause que deux systèmes dont l'un aura succédé à l'autre, dans une même contrée, après la production de plusieurs autres systèmes intermédiaires soient réellement perpendiculaires entre eux. Je remarque en effet que le *système des Alpes occidentales* (N. 26° E.) est perpendiculaire à 8° près au système des Pyrénées (O. 18° N.); que le *système de la chaîne principale des Alpes* est perpendiculaire à $6^{\circ} 30'$ près au système du mont Viso (N. $22^{\circ} 30'$ O.). Je remarque aussi que la direction du *système des îles de Corse et de Sardaigne* (N.-S.) divise en deux parties, qui sont à peu près, dans le rapport de 2 à 3, l'angle formé par la direction du *système de la Côte-d'Or* (E. 40° N.) et par celle du système des Pyrénées (O. 18° N.). J'avais déjà remarqué anciennement, dans les directions des divers systèmes de montagnes, une sorte de récurrence périodique (1), à laquelle les déterminations nouvelles contenues dans cette note pourront ajouter quelques termes assez curieux; mais aucun de ces rapprochements n'approche de l'exactitude dans des limites aussi étroites que ceux que nous ont présentés les systèmes de montagnes dont je viens de déterminer les directions par le calcul, et cela me confirme dans la présomption que cette méthode de calcul est supérieure à mon ancienne méthode graphique.

Je me réserve de discuter ultérieurement ces rapprochements avec plus d'étendue et de rigueur; je tenais surtout à faire observer aujourd'hui qu'ils font déjà entrevoir comment la direction de chaque système a été influencée par celle des systèmes antérieurs, et qu'ils offrent un moyen de contrôler les rapports d'âge que des considérations d'un autre genre établissent entre eux.

Je n'ajouterai sur ce sujet qu'une dernière remarque, c'est que le fait que la direction du *système du Finistère* est perpendiculaire à celle du *système de la Vendée*, tandis que les directions des systèmes qui les ont suivis, ont entre elles des rapports moins simples, semble venir à l'appui de l'opinion de M. Rivière, qui regarde le *système de la Vendée* comme le système de montagnes le plus ancien de l'Europe occidentale.

(1) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe.* — *Manuel géologique*, p. 646 (1833). — *Traité de géognosie*, t. III, p. 343 (1834).

En résumé, il me paraît résulter du contenu de cette note, déjà beaucoup trop longue quoique trop peu détaillée sous beaucoup de rapports, que l'histoire géologique de l'Europe occidentale pendant les premiers temps de la période paléozoïque peut être représentée par le tableau suivant.

Tableau des terrains et des systèmes de montagnes qui se sont formés dans l'Europe occidentale pendant les premiers temps de la période paléozoïque.

Terrain des schistes verts satinés de Belle-Isle.

SYSTÈME DE LA VENDÉE.

Direction N.-N.-O. — S.-S.-E.

Terrain des schistes cumbriens de la Bretagne.

SYSTÈME DU FINISTÈRE.

Direction, à Brest, O. 21° 45' S. — E. 21° 45' N.

Terrain des ardoises vertes du Pays de Galles et des feldstones.

SYSTÈME DU LONGMYND.

Direction, au Binger-Loch, N. 31° 15' E. — S. 31° 15' O.

Série fossilifère du calcaire de Bala.

SYSTÈME DU MORBIHAN.

Direction, à Vannes, O. 38° 15' N. — E. 38° 15' S.

Terrain silurien proprement dit et tilestone fossilifère.

(Gîtes fossilifères de Plymouth, Elbersreuth, Schübelhammer, Abentheuer, Stromberg, Wissenbach, Kemmenau, Häusling, Steinlacke près Weilbourg, Oberscheld près Dillenburg, Wipperfurth, Niederosbach, Braubach, embouchure de la Lahn, Ems, Coblenz, Ehrenbreitstein, bords de la Moselle, Unkel, Siegen, Salchendorf près Siegen, Solingen, Olpe, Landerskron, Lindlar, Isarlohn, Gimborn, Siebengebirge, Altenahr, Daun, Prüm, Limbourg, Martelange, Houffalise, Wiltz, Longvilly, Mondrepuis, environs de Mézières et de Bouillon (Ardennes), environs de Schirmeck (Vosges), Montagne-Noire (Aude), vallée de Campan (Hautes-Pyrénées).)

SYSTÈME DU WESTMORELAND ET DU HUNDSRUCK.

Direction, au Binger-Loch, O. 31° 1/2 S. — E. 31° N.

Terrain dévonien proprement dit.

ADDITION : sur les prolongations lointaines du SYSTÈME DU MORBIHAN, du SYSTÈME DES BALLONS, du SYSTÈME DU WESTMORELAND ET DU HUNDSRUCK et du SYSTÈME DE LA CÔTE-D'OR.

Nous avons été conduit ci-dessus, p. 954, à jeter un coup d'œil sur la prolongation transatlantique du *système du Morbihan*. Le *système des Ballons* me paraît se prolonger aussi dans l'Amérique septentrionale.

Dès l'origine de mes recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe, j'ai signalé le parallélisme qui existe entre la direction qui domine dans la chaîne des Alleghanys et la prolongation de la direction des Pyrénées (1). Depuis lors, ayant reconnu que le *système des Ballons*, quoique presque parallèle au *système des Pyrénées*, est cependant beaucoup plus ancien, j'ai ajouté : « Il est naturel de penser que, si réellement le système » dont les Pyrénées font partie se prolonge depuis les États-Unis » jusque dans l'Inde, en traversant l'Europe, il doit en être de » même du *système des Ballons*, auquel il me paraît même bien » probable que les Alleghanys doivent une partie de leur configuration (2) ».

Aujourd'hui cette probabilité me paraît être devenue presque une certitude. Le *système des Ballons et des collines du Bocage* est postérieur au plissement des couches anthraxifères des bords de la Loire-Inférieure et des départements de la Sarthe et de la Mayenne, mais antérieur au dépôt du terrain houiller de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne), qui repose sur les tranches de ces couches repliées. J'ai cru pendant longtemps que toutes les couches anthraxifères des départements de la Sarthe et de la Mayenne appartenaient au terrain dévonien, et j'en concluais que le *système des Ballons et des collines du Bocage* avait pris naissance après le dépôt du terrain dévonien, mais avant celui de tout le système carbonifère, que je croyais être un tout indivisible. Cependant M. Buckland a signalé, dès l'année 1837, le calcaire de Sablé (Mayenne) comme devant être rapporté au calcaire carbonifère, et, depuis lors, les recherches paléontologiques de MM. de Verneuil (3) et d'Archiac me paraissent avoir mis ce point hors de doute. Or, le calcaire de Sablé est compris dans le plissement de tout le

(1) *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 322 (1829).

(2) *Traité de géognosie*, t. III, p. 365 (1834).

(3) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. X, p. 55 (1839).

système anthraxifère des contrées environnantes qui appartient essentiellement au système des Ballons et des collines du Bocage, donc ce système doit être considéré comme ayant pris naissance après le dépôt du calcaire carbonifère et avant le dépôt du terrain houiller, qui dès lors constituent réellement deux terrains distincts.

Le calcaire carbonifère devient quelquefois un dépôt principalement arénacé et presque semblable au terrain houiller proprement dit. Le terrain carbonifère du Northumberland, les grès calcifères de l'Écosse, le dépôt carbonifère du Donetz, sont déjà trois exemples bien avérés de ce fait; et l'Amérique du Nord me paraît en présenter un quatrième. En effet, les rapprochements paléontologiques que M. de Verneuil a si savamment établis entre les fossiles marins des couches calcaires qui alternent avec les dépôts houillers situés à l'ouest des Alleghanys (1) et les fossiles des terrains paléozoïques de l'Europe, rattachent directement les premiers aux couches calcaires du terrain calcifère des environs de Gloscow, aux couches à *fusulines* du terrain carbonifère du Donetz et non au terrain houiller proprement dit.

Or, d'après les beaux travaux de MM. les professeurs Rogers et de plusieurs autres géologues américains, si bien résumés par M. Lyell (2), les couches carbonifères du grand bassin, placé au pied occidental de la chaîne des Alleghanys, pénètrent dans l'intérieur de cette chaîne. Elles sont aussi essentiellement comprises dans les plis des couches qui la composent que le calcaire de Sablé dans les plis du terrain anthraxifère des bords de la Loire-Inférieure et de la Sarthe. Ces plissements séparés par toute la largeur de l'Océan Atlantique, sont en eux-mêmes complètement analogues, et ils se présenteraient dans des circonstances exactement semblables, si, au lieu de trouver seulement le grès bigarré superposé en stratification discordante sur les couches américaines, on y avait découvert un terrain houiller comparable à celui de Saint-Pierre-la-Cour; mais cette lacune n'empêche pas que la comparaison des directions des deux groupes de couches repliées ne présente un véritable intérêt.

Pour effectuer cette comparaison, je suis parti de la direction que mes recherches antérieures m'ont conduit à assigner au sys-

(1) E. de Verneuil, *Note sur le parallélisme des roches des dépôts paléozoïques de l'Amérique septentrionale avec ceux de l'Europe*, p. 646 du présent volume.

(2) Lyell, *Travels in north America*.

tème des Ballons et des collines du Bocage. J'avais annoncé depuis longtemps que les directions qui se rapportent à ce système « sont toujours très près d'être parallèles à un grand cercle qui » passerait par le Ballon d'Alsace (dans le midi des Vosges) en » faisant avec le méridien de cette cime un angle de 74° , ou en » se dirigeant de l'O. 16° N. à l'E. 16° S. (1) ».

Afin de transporter cette direction dans la région des Alleghanys, j'ai résolu le triangle sphérique formé par le méridien du Ballon d'Alsace, le méridien de Washington et le grand cercle qui passe au Ballon d'Alsace en se dirigeant à l'O. 16° N. Le Ballon d'Alsace est situé par $47^{\circ} 50'$ de lat. N. et par $4^{\circ} 36'$ de long. E. de Paris. Washington est situé par $38^{\circ} 53' 25''$ de lat. N. et par $79^{\circ} 22' 24''$ de long. O. de Paris. L'angle formé au pôle par les deux méridiens est de $83^{\circ} 58' 24''$, et la résolution du triangle sphérique en question montre que le grand cercle qui passe au Ballon d'Alsace, en se dirigeant à l'O. 16° N., rencontre le méridien de Washington par $28^{\circ} 24' 23''$ de lat. N., en faisant avec lui un angle de $47^{\circ} 11' 15''$, c'est-à-dire en se dirigeant de l'E. $42^{\circ} 48' 45''$ N. à l'O. $42^{\circ} 48' 45''$ S.

Le point d'intersection est à $10^{\circ} 29' 2''$, ou à environ 1160 kilomètres au sud de Washington, mais cette distance est prise sur une ligne oblique par rapport au grand cercle prolongé depuis le Ballon d'Alsace : une perpendiculaire abaissée de Washington sur ce grand cercle a seulement une longueur égale à $7^{\circ} 54' 58''$ du méridien, ou à environ 880 kilomètres (200 lieues).

Cette distance, sans être énorme, est déjà assez considérable pour qu'il y ait lieu de calculer quelle serait la direction d'un arc de grand cercle qu'on mènerait par Washington parallèlement à celui que nous avons prolongé depuis le Ballon d'Alsace, c'est-à-dire perpendiculairement à la perpendiculaire que nous venons d'abaisser de Washington sur ce dernier. La résolution du triangle sphérique convenable apprend que l'arc cherché, passant par Washington, se dirigerait de l'E. $43^{\circ} 18'$ N. à l'O. $43^{\circ} 18'$ S.

Telle elle est la direction du *système des Ballons et des collines du Bocage* transportée dans la région des Alleghanys ; or, en construisant cette direction sur l'excellente petite carte géologique des États-Unis, publiée par M. Lyell (2), je trouve qu'elle coïncide d'une manière satisfaisante avec la direction la plus générale des couches redressées des Alleghanys, car elle suit à peu près

(1) *Traité de géognosie*, t. III, p. 305 (1834).

(2) Lyell, *Travels in north America*, t. II.

exactement à travers la Virginie et la Caroline du Nord la ligne de séparation du grès de Potsdam et du calcaire de Trenton. De là je conclus que très probablement les Alleghanys doivent en effet « une partie de leur configuration » au système des Ballons et des collines du Bocage, et que nous n'avons pas fait une chose exorbitante lorsque nous avons cherché ci-dessus, p. 955, la prolongation du système du Morbihan dans le Labrador et le Canada.

Je dois ajouter cependant que c'est une partie seulement de la configuration de la vaste chaîne des Alleghanys, qui me paraît devoir être rapportée au système des Ballons, d'une part parce que je ne renonce pas complètement à y retrouver quelques accidents propres au système des Pyrénées, presque parallèle à celui des Ballons, et de l'autre, parce que, comme l'ont parfaitement observé MM. les professeurs Rogers (1), et comme la carte le montre immédiatement, il existe dans les Alleghanys au moins deux directions distinctes.

Celle qui joue le second rang, sous le rapport de son importance, est beaucoup plus rapprochée de la ligne N.-S. que celle que nous venons de considérer. Elle court à quelques degrés à l'E. du Nord, mais elle se combine avec la première dans une foule de localités, et les observations de MM. les professeurs Rogers ne permettent pas de douter que les deux directions n'aient été imprimées simultanément aux couches carbonifères; mais il me paraît extrêmement probable qu'ici, comme en Belgique, où j'ai déjà signalé ce fait (2), la direction la plus rapprochée du méridien n'est autre chose qu'une direction plus ancienne, déjà existante dans les couches qui servent de support aux couches fossilifères, laquelle a été reproduite au moment où le système des Ballons a pris naissance, de manière à s'allier avec celle de ce système sans se confondre avec elle.

Cette manière de voir aurait l'avantage de se trouver presque complètement en harmonie avec les savants travaux de M. le professeur Hitchcock sur la géologie du Massachusetts (3).

(1) Professors W. B. and H. D. Rogers, *On the physical structure of the appalachian chain. — Transactions of the association of American geologists and naturalists*, 1840—1843, p. 474.

(2) *Manuel géologique*, p. 632 (1833). — *Traité de géognosie*, t. III, p. 314 (1834).

(3) Professor Ed. Hitchcock, *Systems of strata in Massachusetts. — Final report on the geology of Massachusetts*, vol. II, p. 709 (1841).

M. Hitchcock distingue dans le Massachusetts jusqu'à six systèmes stratigraphiques.

Le second de ces systèmes dans l'ordre d'ancienneté est désigné par lui sous le nom de système N.-E. S.-O. Suivant cet habile observateur, c'est le système le plus distinct du Massachusetts, il affecte la grauwacke (p. 712) contemporaine des couches carbonifères de l'O., et M. Hitchcock ajoute qu'il correspond presque exactement en direction avec les principales crêtes de la chaîne des Alleghanys dans les États du milieu et du sud, et aussi avec des chaînes qui s'étendent de la nouvelle Angleterre vers le N.-E.

Or, la direction du système des *Ballons* rapportée à Washington, qui est E. 43° 18' N., O. 43° 18' S., étant transportée de Washington à Amherst-College, au centre de l'État de Massachusetts (lat. 42° 22' 13" N., long. 74° 52' O. de Paris), devient à peu près E. 40° 20' N. — O. 40° 20' S. Elle ne diffère par conséquent que de 4° 40' de celle que M. Hitchcock assigne à son second système, et par cela même que ce savant géologue s'est borné à désigner ce système d'une manière générale comme courant du N.-E. au S.-O., peut-être ne faut-il pas prendre cette désignation comme équivalant à l'énonciation d'une valeur numérique rigoureuse. Je serais d'autant plus porté à le croire, que M. le Dr Charles T. Jackson indique aussi d'une manière générale, dans le New-Hampshire et le Maine, un grand nombre de couches anciennes comme se dirigeant du N.-E. au S.-O., et en signale en même temps beaucoup d'autres comme courant suivant des directions plus rapprochées de la ligne E.-N.-E. — O.-S.-O. (1), ce qui conduirait à une moyenne peu éloignée de notre direction E. 40° 20' N. — O. 40° 20' S. Ces rapprochements me paraissent tendre à confirmer les rapports que je crois apercevoir entre la direction générale des Alleghanys et celle qui est propre au système des *Ballons*.

Mais M. le professeur Hitchcock signale, dans l'État de Massachusetts et dans les contrées adjacentes, un système plus ancien que le système N.-E., S.-O.; il le désigne sous le nom de *oldest meridional system* (système méridien le plus ancien), et il annonce (p. 710) que sa direction ne s'éloigne pas beaucoup du méridien, mais s'en écarte cependant de plusieurs degrés vers l'Est du Nord. Ce système paraît s'étendre vers le Nord, de manière à embrasser les masses les plus élevées de la nouvelle Angleterre, les *white moun-*

(1) Dr Charles T. Jackson, *Reports on the geology of Maine*, et *Final report on the geology and mineralogy of the state of New-Hampshire* (1844).

tains du New-Hampshire. Les couches auxquelles il a imprimé sa direction paraissent avoir été dérangées par le système N.-E., S.-O., ce qui indique qu'il est plus ancien que ce dernier.

Je suis très porté à présumer que ce *système méridien le plus ancien*, dirigé un peu à l'E. du Nord, est en effet plus ancien que le *système des Ballons*, que toutes les couches siluriennes de l'Amérique du Nord, et même plus ancien que le *système du Morbihan*. La discordance de stratification que M. le professeur Emmons a signalée entre les roches primaires du New-Hampshire et du Vermont, et le terrain taconique (1), doit faire supposer que le *système méridien le plus ancien* de M. le professeur Hitchcock est antérieur à la période de dépôt du terrain taconique.

La discordance de stratification que M. le professeur Emmons signale aussi entre les couches les plus élevées du terrain taconique et le grès de Potsdam, qui me paraît l'équivalent du grès de Caradoc, montre qu'un second mouvement de dislocation s'est opéré dans la Nouvelle-Angleterre avant le dépôt du terrain silurien proprement dit. Ce second mouvement de dislocation pourrait être contemporain de la formation du *système du Morbihan*, dont la direction, qui devient à Amherst-College E. 19° 20' N. O. 19° 20' S., se rapproche des directions de beaucoup des couches anciennes observées dans le New-Hampshire et le Maine par M. le Dr Charles T. Jackson; mais il pourrait aussi être plus ancien, auquel cas il existerait entre les couches les plus élevées du terrain taconique et le grès de Potsdam, une lacune plus ou moins considérable, analogue à celle que j'ai signalée sur les pentes des collines du Longmynd.

Dans tout état de cause, le terrain taconique me paraîtrait devoir correspondre à la totalité ou à une partie de la *série fossilifère du calcaire de Bala*, et peut-être à une partie du terrain des ardoises vertes du pays de Galles et du Westmoreland. La série des roches primaires du New-Hampshire et du Vermont correspondrait elle-même, dans cette hypothèse, à quelques parties du terrain des ardoises vertes du pays de Galles et du Westmoreland, et peut-être à certaines parties des schistes cumbriens de la Bretagne et des couches qui leur sont inférieures. Les deux groupes de couches américaines, dont je viens de parler, ne peuvent guère correspondre exactement à nos terrains européens, parce que le *système méridien le plus ancien* de M. le professeur Hitchcock, dont la formation a

(1) Professeur Ebenezer Emmons, *The taconic system*, in-4°. Albany (1844).

eu lieu entre les périodes respectives de leurs dépôts, ne se dirige pas vers l'Europe, et ne doit correspondre exactement par son âge à aucun des systèmes de montagnes européens.

La direction du *système méridien le plus ancien* de M. le professeur Hitchcock me paraît jouer, dans la constitution géologique de l'hémisphère américain, un rôle très étendu et très remarquable. D'après la belle carte géologique de l'État de Connecticut, publiée par M. Percival (1), cette direction se continue vers le S.-S.-O. à travers une grande partie de cet État, dont sa prolongation atteindrait la côte près de l'embouchure de la rivière Connecticut. Dans le sens opposé, elle se poursuit à travers l'État de New-Hampshire jusque près des sources de la même rivière Connecticut. L'orientation générale me paraît être à peu près N. 15° E. — S. 15° O., et telle serait aussi à peu près la moyenne d'un grand nombre de directions de roches anciennes, relevées dans les *white mountains* et dans les chaînes adjacentes par M. le docteur Charles T. Jackson (2).

Or, cette direction ne s'arrête pas aux sources du Connecticut; on peut la suivre jusqu'à la grande vallée du Saint-Laurent. Prolongée plus au N., elle traverse le Labrador dans sa plus grande largeur, parallèlement à plusieurs des principaux cours d'eau que les cartes y figurent, pour aboutir un peu à l'E. du cap Chidley, dont la pointe se dirige elle-même du côté du N. Au-delà du détroit de Davis, elle traverserait le Groënland parallèlement à la direction générale de plusieurs parties fort étendues de sa côte orientale.

Cette même direction, représentée par un grand cercle qui partirait d'Amherst-College (Massachusetts) (lat. 42° 22' 13" N., long. 74° 52' O. de Paris), en se dirigeant au S. 15° O., court d'abord parallèlement à la direction générale de la côte des États-Unis, depuis l'embouchure de la rivière Hudson jusqu'au cap Hatteras. Elle traverse ensuite la partie orientale de l'île de Cuba, puis l'isthme de Panama, et ne formant plus alors avec le méridien qu'un angle d'environ 10°, elle va raser la saillie que présente près de Guayaquil la côte de l'Amérique méridionale, après avoir passé un peu en dehors de la côte du Choco, parallèlement aux chaînes principales de la Nouvelle-Grenade, telles

(1) J. G. Percival, *Report on the geology of the state Connecticut*, New-Haven, 1842.

(2) *Final report on the geology of the state of New-Hampshire.*

qu'elles sont dessinées sur la belle carte publiée tout récemment par M. le colonel Acosta.

L'arc de grand cercle dont je viens d'indiquer le cours, est l'axe de l'une des zones minéralogiques et métallifères les plus remarquables du globe. Cette zone comprend, dans un espace comparativement peu étendu en largeur, les gîtes d'où proviennent les minéraux aussi remarquables que variés du Groënland et du Labrador, ceux plus variés encore, ou du moins plus complètement explorés de la Nouvelle-Angleterre, les gîtes aurifères du Vermont, de la Virginie, des Carolines, de la Géorgie, et ceux qui ont fourni l'or aux alluvions aurifères des mêmes États, les divers gîtes de Cuba, ceux qui ont fourni l'or aux alluvions aurifères de la Caroline, ceux d'Haïti (or, platine), qui les premiers ont donné l'éveil sur les richesses métalliques du Nouveau-Monde, et enfin les gisements platinifères et aurifères du Choco et des Cordilières orientales de la Nouvelle-Grenade.

Considérée dans son ensemble, cette zone minérale et métallifère est plus étendue et non moins rectiligne que l'Oural avec laquelle elle a plus d'un trait de ressemblance. Si elle n'est pas aussi continue, cela tient seulement à ce qu'elle s'enfonce à plusieurs reprises sous la mer, au-delà de laquelle elle reparaît constamment jusqu'à ce qu'elle se perde, d'une part sous la mer équatoriale, et de l'autre sous les glaces polaires du Groënland, au-delà desquelles son prolongement traverse encore les régions aurifères et argentifères de l'Altaï. La constance de sa richesse minérale me paraît attester qu'on doit réellement la regarder comme continue dans toute l'étendue où je l'ai suivie, et que par conséquent on se tromperait complètement si on ne voyait dans la partie de cette zone qui traverse la Nouvelle-Angleterre, qu'une simple déviation de la direction habituelle des Alleghany. Les gîtes de minerais d'étain découverts par M. le Dr Charles T. Jackson dans le New-Hampshire, et la nature générale des minéraux de la Nouvelle-Angleterre me paraissent en même temps donner à cette zone un caractère d'ancienneté comparable à celui des zones minérales, parallèles aux *systèmes du Finistère et du Longmynd*, qui traversent la Suède et la Finlande, circonstance parfaitement conforme aux observations de MM. les professeurs Hitchcock et Emmons, qui assignent au *système méridien le plus ancien* une antiquité supérieure à celle de tous les autres systèmes de montagnes reconnus jusqu'à présent dans l'Amérique septentrionale.

A une époque où je ne pouvais former encore que des conjectures assez vagues sur ces systèmes transatlantiques, j'avais cru

déjà pouvoir distinguer, comme constituant un système à part, les « couches anciennes, redressée dans une direction presque » N.-S., qui forment les bords du Connecticut et de la rivière » Hudson », et j'ajoutais que « le redressement des couches N.-S. » dont nous venons parler, remonte sans doute à une époque » plus ancienne que celui des couches N.-E. — S.-O. qui consti- » tuent les Alleghany proprement dits (1). » Cette relation d'ancienneté me semble aujourd'hui hors de doute et c'est la direction de ces couches redressées antérieurement qui me paraît avoir été reproduite dans plusieurs parties de la chaîne des Alleghany à l'époque de la formation du *système des Ballons*.

M. Hitchcock indique dans le Massachusetts plusieurs systèmes stratigraphiques dont les directions ne se distinguent pas sensiblement de celle du *système méridien le plus ancien*, mais qui sont d'une date plus moderne, ce qui me paraît indiquer que la direction de ce système s'est en effet reproduite dans des phénomènes géologiques postérieurs à sa première origine. Le *système méridien le plus ancien* de M. le professeur Hitchcock serait donc un nouvel exemple à ajouter à ceux rappelés ci-dessus, de systèmes dont les directions se sont reproduites à des époques successives et très éloignées les unes des autres.

Je vois en effet que M. le Dr Jackson, en explorant les montagnes du New-Hampshire, y a observé la direction qui nous occupe non seulement dans les couches anciennes, mais aussi dans plusieurs filons qui sont, sans doute, plus modernes que les masses qu'ils traversent, bien que fort anciens eux-mêmes. Je remarque en outre que la direction du *système méridien le plus ancien* forme la limite orientale des terrains crétacés des États-Unis, qui semblent coupés abruptement à son approche, et que les terrains crétacés sont soulevés sur les flancs des Cordilières de la Nouvelle-Grenade, orientés parallèlement à la direction prolongée du même système. Je remarque enfin que vers les extrémités de la zone où nous l'avons suivie, cette direction est parallèle, d'une part à l'alignement général des volcans de l'équateur, et de l'autre à celui des volcans de l'Islande et de l'île de Jean Mayen. Or, il me paraît, au fond, peu surprenant qu'une direction, dont l'origine première est extrêmement ancienne et qui a continué à influencer sur les phénomènes géologiques jusqu'aux périodes les plus récentes de l'histoire du globe, ait été reproduite partiellement à

(1) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe.* — *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 322 (1829).

l'époque où les couches des Alleghanys ont été repliées suivant la direction du *système des Ballons*.

La manière de concevoir la formation des principaux traits du relief des États-Unis, que je viens de proposer, se trouve confirmée par une considération d'un ordre complètement différent des précédentes. Toutes les formations paléozoïques qui s'étendent depuis la rivière Hudson jusqu'au Mississipi sont comprises dans un espace angulaire terminé à l'O. par les crêtes du *système méridien le plus ancien* de M. le professeur Hitchcock, et au N. par les terrains primitifs du Canada, que je suppose avoir été définitivement émergés lors de la formation du *système du Morbihan*. Cet espace angulaire, ouvert au S.-O., me paraît avoir formé un large golfe dont le fond, situé vers le pied des *white mountains*, se prolongeait peut-être vers Montréal et Québec par quelque bras de mer étroit. Je suis porté à supposer que les sédiments descendus des montagnes primitives de la Nouvelle-Angleterre et du Canada se sont accumulés de préférence vers l'extrémité de ce golfe, et je serais tenté d'expliquer par là pourquoi les terrains paléozoïques de l'Amérique du Nord sont plus épais et plus arénacés, comme l'ont remarqué M. James Hall et M. de Verneuil, près de la rivière Hudson que vers le Mississipi, tandis que les couches calcaires qu'ils renferment augmentent au contraire en épaisseur à mesure qu'on s'avance vers l'O. Il se serait produit là, mais beaucoup plus en grand, quelque chose d'analogue à ce qui s'est passé dans le golfe de Luxembourg lors de la formation du Lias (1).

Nous avons trouvé qu'à Amherst-Collège, le *système du Morbihan* se dirige à l'E. $19^{\circ} 20'$ N., tandis que le *système des ballons* se dirige à l'E. $40^{\circ} 20'$ N., et le *système méridien le plus ancien* à l'E. 75° N. De là il résulte qu'en ce point la direction du *système des Ballons* fait avec celle du premier un angle de 21° , et avec celle du second un angle de $34^{\circ} 40'$. Ces deux angles sont entre eux, à très peu de choses près, comme 3 : 5. Ce rapport n'est pas très simple ; mais si, comme tout semble l'indiquer, ce sont seulement les extrémités du *système du Morbihan* et du *système des Ballons* qui se montrent en Amérique, il n'y avait peut-être aucune raison de présumer *a priori* que la combinaison de leurs directions avec celle du *système méridien le plus ancien* dût rien présenter de remarquable.

On pourrait être tenté d'objecter au rapprochement que je cherche à établir entre la direction principale des Alleghanys et celle

(1) *Explication de la Carte géologique de la France*, t. II, p. 422.

du *système des Ballons*, que le grand cercle qui passe par la cime du Ballon d'Alsace, en se dirigeant à l'O. 16° N. laisse assez loin de côté toute la masse des Alleghanys, puisqu'il passe à environ 200 lieues au S.-O. de Washington. Un autre rapprochement que me fournit le grand travail géologique de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling sur la Russie, va répondre à cette objection en montrant que le système des Ballons embrasse en Europe une zone d'une très grande largeur.

La belle carte géologique de la Russie d'Europe, publiée par les savants géologues que je viens de citer, nous représente cette vaste contrée comme divisée en deux parties par un axe de terrain dévonien, dirigé de Voroneje vers le golfe de Riga. Cet axe paraît dû à un soulèvement qui a émergé le bassin carbonifère de Moscou, et l'a rendu inaccessible aux dépôts de la période houillère; qui, par conséquent, doit être d'une date postérieure au dépôt du calcaire carbonifère et antérieure à celui du terrain houiller. Or, la direction O. 16° N., transportée du Ballon d'Alsace à Orel, en Russie (lat. $52^{\circ} 56' 40''$ N., long. $33^{\circ} 37'$ E. de Paris), devient O. $36^{\circ} 38'$ N. Construite sur la carte de Russie, cette direction coïncide, à très peu de chose près, avec celle de l'axe dévonien, dirigé de Voroneje vers le golfe de Riga. Je suis conduit par là à considérer l'axe dévonien du centre de la Russie comme étant en Europe l'un des membres les mieux définis et le plus largement dessinés du *système des Ballons*.

Cet axe dévonien de la Russie comprend, entre lui et le grand cercle dirigé à l'O. 16° N. par le sommet du Ballon d'Alsace, un intervalle d'environ 350 lieues; par conséquent, si on le prolongeait en Amérique, il passerait à plus de 100 lieues au N.-O. de la chaîne des Alleghanys. On voit par là que cette chaîne est complètement renfermée dans la prolongation de la zone qui, en Europe, est affectée par les dislocations du *système des Ballons*. Si, comme je suis porté à le croire, la montagne de la Lozère se rapporte au *système des Ballons*, et si, comme le pense M. Durocher, ce même système se retrouve encore dans les Pyrénées, il embrasse en Europe une zone de près de 400 lieues de largeur; peut-être comprend-il dans l'Amérique septentrionale d'autres chaînes encore que celle des Alleghanys.

Ce système me paraît avoir sillonné la surface du globe, du bassin du Volga au bassin du Mississipi, immédiatement après le dépôt des couches à *fusulines* qui établissent dans ces deux contrées éloignées un horizon géologique si remarquable, et je ne puis me refuser à croire que le bouleversement auquel il est dû, a inter-

rompu dans ce vaste espace le dépôt du calcaire carbonifère dont les couches les plus élevées sont caractérisées par ces fossiles remarquables. C'est ainsi que plus tard et dans une direction très peu différente la formation du *système des Pyrénées* est venue interrompre le dépôt du *terrain nummulitique*, depuis le golfe de Gascogne jusqu'aux rives de l'Indus. On a proposé tout récemment de classer le terrain nummulitique parmi les terrains *éocènes*. Si cette classification est admise, il existera une ressemblance de plus entre le *système des Ballons*, soulevé au milieu de la période carbonifère, et le *système des Pyrénées*, soulevé au milieu de la période éocène.

En reconnaissant ainsi des périodes zoologiques dont le milieu correspondrait au soulèvement d'un vaste système de montagnes, les paléontologistes effaceront eux-mêmes les derniers vestiges d'une opinion contre laquelle, ainsi que je le rappelais dernièrement, je me suis élevé depuis longtemps (1), « qui regarderait » chacune des révolutions de la surface du globe comme ayant dé- » terminé, non seulement des déplacements, mais encore un re- » nouvellement complet des êtres vivants. » Ils rendront de plus en plus probable l'opinion contraire, qui admet que *lorsque les fossiles de tous les terrains seront complètement connus, ils formeront dans leur ensemble une série aussi continue que l'est aujourd'hui la série partielle des terrains jurassiques et crétacés ou celle des terrains paléozoïques* (2); ils ramèneront enfin les géologues à baser surtout les divisions des terrains sur leur gisement. C'est ce qu'ils ont fait depuis Werner, et « la circonstance que les boule- » versements qui, en Europe, ont marqué le commencement et » la fin de la période secondaire, se seraient étendus jusqu'aux » États-Unis et dans l'Inde, expliquerait pourquoi ces grandes » coupures des terrains de sédiment semblent se retrouver dans » trois contrées aussi distantes (3) ». Le *système des Ballons* et le *système des Pyrénées* traversant les régions qui seront pendant bien des années encore le théâtre principal des travaux des géologues, on conçoit qu'ils fournissent pour la classification des terrains des points de repère précieux, et que les divisions qu'ils déterminent doivent présenter une apparence de généralité qu'on ne retrouve pas dans les autres. Il est donc à désirer qu'on s'accorde à y ratta-

(1) Voyez ci-dessus p. 562.

(2) Voyez ci-dessus p. 564.

(3) *Manuel géologique*, p. 658. — *Traité de géognosie*, t. III, p. 366.

cher le commencement et la fin de la période des terrains secondaires.

La probabilité avec laquelle je crois retrouver en Amérique les prolongations du *système du Morbihan* et du *système des Ballons*, m'a engagé à revenir sur l'idée que j'ai eue il y a quelques années, de concert avec M. Pierre de Tchihatcheff, de chercher à suivre à travers l'Asie la prolongation du *système du Westmoreland et du Hundsrück*, et celle du *système de la Côte-d'Or*.

Dans un rapport sur un mémoire de M. Pierre de Tchihatcheff, relatif à la constitution géologique de l'Altaï, que j'ai lu à l'Académie des sciences, le 12 mai 1845 (1), je me suis hasardé à dire : « la direction E. $37^{\circ} 30'$ N. du Hundsrück, prolongée à travers l'Asie, coupe le 85° méridien à l'E. de Paris par $54^{\circ} 27'$ de latitude N., en formant avec lui un angle de $61^{\circ} 17'$; d'où il résulte qu'elle traverse l'Altaï de l'O. $28^{\circ} 43'$ N. à l'E. $28^{\circ} 43'$ S.

« On peut remarquer, de même, que la direction E. 40° N. de la Côte-d'Or, prolongée à travers l'Asie, coupe le 85° méridien à l'E. de Paris par $57^{\circ} 27'$ de latitude nord, en formant avec lui un angle de $62^{\circ} 34'$, et que par conséquent elle traverse elle-même l'Altaï de l'O. $27^{\circ} 26'$ N. à l'E. $27^{\circ} 26'$ S.

» Or ces deux directions, si peu différentes l'une de l'autre, représentent très sensiblement la direction de l'Altaï occidental, telle qu'elle se manifeste sur la carte de M. de Tchihatcheff, par la disposition des bandes de roches granitiques et schisteuses. Elle se rapproche aussi beaucoup de la direction O.-N.-O E.-S.-E. que M. de Humboldt assigne à l'un des systèmes de dislocation de l'Altaï (2). »

En adoptant dans la présente note pour le *grand cercle de comparaison*, destiné à représenter le *système du Westmoreland et du Hundsrück*, un grand cercle passant au Binger-Loch et dirigé en ce point, à l'E. $31^{\circ} 30'$ N., je n'ai pas changé sensiblement le point de départ de la direction à prolonger vers l'Altaï, mais j'ai changé cette direction de 6° , et cette modification exige nécessairement que des modifications correspondantes soient apportées à une partie des calculs et des considérations qui viennent d'être rappelés.

L'arc de grand cercle qui passe au Binger-Loch (lat. $49^{\circ} 55'$ N., long. $5^{\circ} 30'$ E.) en se dirigeant à l'E. $31^{\circ} 30'$ N., étant prolongé jusqu'au méridien du lac de Télétzk (dans l'Altaï) à 85° E. de

(1) *Comptes-rendus*, t. XX, p. 1442.

(2) Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 378.

Paris, couperait ce méridien par $49^{\circ} 2' 34''$ de lat. N., et sous un angle de $56^{\circ} 53' 2''$, c'est-à-dire en se dirigeant de l'O. $33^{\circ} 6' 58''$ N. à l'E. $33^{\circ} 6' 58''$ S. Il traverserait l'Altaï occidental dans le sens de sa longueur, suivant une direction presque exactement parallèle à l'orientation générale des principales masses granitiques dessinées sur la carte de M. Pierre de Tchihatcheff, au pied desquelles semblent avoir dû se déposer les calcaire carbonifères du bassin de l'Irtisch.

Comparée à celle qui se rapportait à l'orientation que j'avais primitivement adoptée pour le *système du Westmoreland et du Hundsrück*, elle est plus éloignée d'environ $4^{\circ} 1/2$ de la ligne O.-N.-O. E.-S.-E., et par conséquent de la direction assignée par M. de Humboldt aux couches de l'Altaï occidental, de celle du cours de l'Irtisch de Bouchtarminsk à Semipolatinsk, de même que de la moyenne des directions que M. de Tchihatcheff a tracées sur sa belle carte comme représentant les orientations des couches de l'Altaï occidental, notamment celles des couches carbonifères.

On voit, d'après cela, que les directions des couches carbonifères de l'Altaï occidental et celles des traits principaux de son relief extérieur actuel se rapprochent plus de la direction du *système de la Côte-d'Or* que de celle du *système du Westmoreland et du Hundsrück*. Ainsi l'indécision que j'annonçais dans le passage rapporté ci-dessus, cesse d'exister, et si la configuration extérieure actuelle et les grandes dislocations des couches de l'Altaï occidental se rattachent réellement à quelqu'un de nos systèmes européens, c'est, suivant toute apparence, au système de la Côte-d'Or. Si le *système du Westmoreland et du Hundsrück* s'y dessine en même temps, ce ne peut être que dans les profondeurs du sol primordial, c'est-à-dire dans l'orientation générale des masses granitiques, et de certaines roches schisteuses anciennes.

Il paraîtrait cependant que la direction du *système du Westmoreland et du Hundsrück* poursuit son cours à travers tout l'empire de la Chine et même beaucoup au-delà. Le grand cercle qui passe au Binger-Loch en se dirigeant à l'E. $31^{\circ} 1/2$ N., prolongé jusqu'au méridien de Canton (Canton, lat. $23^{\circ} 8' 9''$ N., long. $110^{\circ} 42' 30''$ E. de Paris), va couper ce méridien par $31^{\circ} 14' 40''$ de lat. N., et sous un angle de $39^{\circ} 57' 9''$, c'est-à-dire, en se dirigeant du N. $39^{\circ} 57' 9''$ O. au S. $39^{\circ} 57' 9''$ E. Il passe à $8^{\circ} 6' 31''$ ou à environ 1000 kilomètres (200 lieues) au N. de Canton; mais, comme il est devenu très oblique par rapport au méridien, Canton ne s'en trouve guère qu'à 120 lieues vers le S.-O.

Cette direction prolongée depuis le Binger-Loch , atteint la côte de la mer de la Chine , entre l'île de Hong-Kong et celle de Formose ; elle passe ensuite au N.-E. de l'île de Luçon et de tout l'archipel des Philippines, parallèlement à quelques unes de leurs lignes orographiques les plus remarquables, poursuit son cours à travers la Nouvelle-Guinée, le continue ensuite parallèlement à une partie des côtes N.-E. de la Nouvelle-Hollande, et à la direction générale de la Nouvelle-Calédonie, et finit par aller couper la Nouvelle-Zéelande parallèlement à la ligne droite à laquelle se terminent, vers le N.-E., toutes les pointes de la grande île septentrionale Ikana-Mawi.

J'hésite à croire que cette identité de direction entre certaines chaînes de l'Australie et certaines chaînes de l'Europe occidentale, situées presque aux antipodes les unes des autres, soit l'indice d'une identité d'âge entre elles. Je crois que les chaînes d'un même âge sont généralement comprises dans un même fuseau de l'écorce terrestre. Un fuseau se termine nécessairement par deux pointes situées rigoureusement l'une à l'antipode de l'autre ; près de chacune de ces pointes la direction des chaînes doit tendre à devenir incertaine. Il y aurait donc, dans ma manière de voir, quelque difficulté à concevoir que des chaînes placées dans deux régions situées aux antipodes l'une de l'autre et cependant parallèles à un même *grand cercle de comparaison*, soient les résultats d'un même ridement de l'écorce terrestre. Il me paraît beaucoup plus probable qu'il existe ici un nouvel exemple d'une direction qui s'est reproduite à deux époques successives et fort éloignées l'une de l'autre. Deux ridements se seraient opérés dans deux fuseaux ayant leurs lignes médianes sur un même grand cercle, mais placés en partie l'un à la suite de l'autre, le long de ce grand cercle, de manière à embrasser à eux deux un espace beaucoup plus long qu'une demi-circonférence. Je suis d'autant plus porté à conjecturer que c'est là l'explication réelle du fait qui nous occupe, que les chaînes orientées dans l'Australie parallèlement à notre *grand cercle de comparaison*, paraissent plus modernes que celles auxquelles elles correspondent dans l'Europe occidentale, parce qu'elles sont plus saillantes et parce qu'elles sont en rapport avec la ligne volcanique en zig-zag, qui s'étend des îles Philippines à la Nouvelle-Zéelande.

Mais la double origine du système que nous venons de suivre depuis la France jusque tout près de nos antipodes, ne doit pas empêcher de remarquer que dans son cours à travers la partie orientale de l'empire de la Chine, sa direction est parallèle à

celles d'un grand nombre des rivières et des crêtes montagneuses que les cartes figurent dans ces contrées peu connues. Peut-être fournira-t elle , concurremment avec la direction de la Côte-d'Or, dont elle est devenue bien distincte, un des éléments dont on pourra se servir pour déchiffrer la structure orographique de l'Asie centrale.

